TECSULT

Tecsult Inc.

experts-conseils / consultants

85, RUE STE-CATHERINE OUEST, MONTRÉAL, CANADA

IGM87RT-202-536-G
CNRC 27370

PROJET CORR_EX

Réalisation du système-expert corrosion

RAPPORT DE LA 2e PHASE

CHOIX DE L'OUTIL INFORMATIQUE

CORROSULT

Avril 1987

PROJET CORR EX
Réalisation du système-expert corrosion
RAPPORT DE LA 2e PHASE
CHOIX DE L'OUTIL INFORMATIQUE

Préparé par:
Marie-José Montpetit M.Sc.A.
Jean-Jacques Lamoureux Ing.

pour

Approvisionnement et Services Canada
Le Conseil National de Recherches du Canada
Institut de Génie des Matériaux

Contrat no. 285Ø

Vendredi le 12 décembre 1986

TABLE DES MATIERES

SOMMAIRE v

REMERCIEMENTS vi

INTRODUCTION 1

1. RAPPELS SUR LES SYSTEMES-EXPERTS 3
1.1. Intelligence artificielle 3
1.2. Système-expert 3
1.3. Utilisation 4
1.4. Système-expert vs programme conventionnel 5
1.5. Structure générale d'un système-expert 6
1.5.1. Base de connaissances 7
1.5.2. Moteur d'inférence 8
1.5.3. Interfaces 9

2. SYSTEME-EXPERT CORROSION 11
2.1. Système-expert et problèmes de corrosion 11
2.2. Rappel des conclusions de la phase I 12
2.3. Définition de Corr_Ex 14
2.4. Exemple de dialogue usager-système 15

3. OUTILS INFORMATIQUES: MATERIEL 30
3.1. Remarques préliminaires 30
3.2. Descriptions générales 30
3.2.1. Micro-ordinateurs 30
3.2.2. Stations 31

4. OUTILS INFORMATIQUES: LOGICIEL 35
4.1. Remarques préliminaires 35
4.2. Classification selon le matériel 37
4.2.1. Micro-ordinateurs 37
4.2.2. Stations 38

5. EVALUATION 47
5.1. Critères d'évaluation 47
5.1.1. Matériel 47
5.1.2. Langages 47
5.2. Evaluation générale 49
5.2.1. Machines 49
5.2.2. Coquilles/Outils 51
5.2.3. Langages 52
5.3. Evaluation spécifique pour Corr_Ex 53

6. BASES DE DONNEES DISPONIBLES 57
6.1. NBS/Nace 57
6.2. ASM 58
6.3. Marcel Dekker Inc. 58
6.4. Groupe Scientifique Thermodata Europe (SGTE) . . . 59

7. ORIGINALITE DU PROJET PROPOSE 60
7.1. Systèmes experts dans le domaine de la corrosion . 60
7.1.1. Harwell 60
7.1.2. "Corrosion Expert" 63
7.1.3. "IPCI" 63
7.2. Originalité du projet Corr_Ex 64

8. DEVELOPPEMENT DE CORR_EX 65
8.1. Prototype 65
8.2. Budget 66

9. CONCLUSIONS 73

10. RECOMMANDATIONS 74

BIBLIOGRAPHIE 75

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Structure d'un système-expert 6
Figure 2: Détermination du problème. 19
Figure 3: Forme de corrosion 19
Figure 4: Matériaux 20
Figure 5: Identification du milieu 20
Figure 6.1: Caractéristiques 21
Figure 6.2: Caractéristiques 21
Figure 7: Conclusions 22
Figure 7.1: Explication 23
Figure 8: Transition expertise-conception 24
Figure 9: Identification de l'équipement 24
Figure 10: Dimensionnement de l'équipement 25
Figure 11: Caractéristiques de l'équipement 25
Figure 12: Environnement 26
Figure 13: Conception de la P/C 26
Figure 14: Conception détaillée 27
Figure 15: Economie 27
Figure 16: Conditions locales 28
Figure 17: Solution retenue 29
Figure 18: Concepts de langage et d'outil 36
Figure 19: Position des langages d'IA et des outils . 36
Figure 20: Tendances actuelles 56
Figure 21: Evolution des tendances 56
Figure 22: Choix de matériaux 62
Figure 23: Explication 62
Figure 24: Information 62
Figure 25: Phases de développement 67

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU 1: Proposition: système-expert corrosion . . . 13
TABLEAU 2. : Classification des systèmes-experts . . . 32
TABLEAU 3: Matériel 33
1ère partie: Prix 33
2e partie: Evaluation préliminaire 34
TABLEAU 4: Langages d'IA 39
1ère partie: Compagnies 39
2e partie: Versions et matériel 40
TABLEAU 5: Coquilles et outils 41
1ère partie: Compagnies 41
2e partie: Matériel 43
3e partie: Langages 45
TABLEAU 6: Budget prévu 68
1ère partie: Démonstrateur 68
2e partie: Après-démonstrateur 68
TABLEAU 7: Ressources nécessaires 72

SOMMAIRE

L'étude de marché de la phase I du système-expert corrosion (Corr_Ex), destiné au diagnostic des causes de corrosion et à la conception des méthodes de protection optimales, a démontré qu'il existait une volonté de le réaliser et de l'utiliser. Le mandat actuel est de choisir l'outil informatique susceptible de permettre le développement de Corr_Ex.

Les auteurs ont analysé et comparé les outils disponibles en fonction de critères spécifiques au projet.

Après évaluation, il a été recommandé de réaliser les phases successives du projet de la façon suivante:

- réalisation du démonstrateur sur PC-AT sous MS-DOS avec le langage Arity Prolog ou sur micro-Vax sous microVMS et langage VaxProlog (cette seconde alternative offre une meilleure continuité entre la phase prototype et la phase de développement proprement dite).
- réalisation du système entier sur équipement micro-VAX sous microVMS et langage VaxProlog.

La réalisation du "démo" devrait se faire en 6 mois, à un coût de l'ordre de 150 000$. Le projet entier, sur une période d'au moins 2 ans, demandera des ressources supplémentaires plus considérables, de l'ordre du ½ million de dollars.

Une approche considérée, pour recueillir les fonds nécessaires, est la recherche de partenaires industriels; les premiers contacts avec, entre autres, les fabricants de peintures sont prometteurs.

REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent à remercier tout particulièrement:

M. Robert Pichon de l'Institut de Recherches en Santé et Sécurité au Travail.
M. Eric Viardot de Digital Equipment Corporation.
M. Glenn Gulak de l'Université Stanford.
Arity Corporation.
Le projet Saf_Ex.
Datasult Inc.
Peintures Internationales.

INTRODUCTION

La compagnie Corrosult désire construire un système-expert corrosion pour assurer une meilleure expertise et une conception plus appropriée de la protection contre la corrosion. Les buts du système seraient de mieux identifier les causes de corrosion selon leurs formes et permettre d'apporter plus efficacement les solutions optimales dès le début d'un projet.

La première phase du projet, l'étude du marché et les spécifications préliminaires [24,25], a démontré qu'il y avait effectivement une volonté de réaliser et d'utiliser le système et que, de plus, les clients potentiels possédaient majoritairement de l'équipement informatique (PC et ordinateurs de plus grande puissance).

Corrosult, a reçu le mandat[1] de réaliser la phase II du projet de développement du système-expert corrosion (projet Corr_Ex par la suite): définir l'outil informatique pour la réalisation du projet Corr_Ex.

Il s'agit donc:

- de faire une évaluation des différentes machines et des différents langages d'intelligence artificielle (IA), coquilles et outils disponibles.
- de comparer Corr_Ex à d'autres projets en corrosion et de démontrer son originalité.
- de proposer la ou les solution(s) la ou les plus appropriée(s) au projet.

[1] Ministère des Approvisionnments et Service, contrat #285Ø pour l'Institut de Génie des Matériaux du Conseil National de Recherches, Canada (IGM par la suite).

Pour ce faire, tel que prévu dans l'offre de services, le présent rapport:

- rappelle la définition d'un système-expert, les caractéristiques propres d'un système-expert corrosion et les conclusions de la phase I[2].
- introduit les grandes lignes du projet Corr_Ex, suivies des descriptions des outils informatiques disponibles.
- évalue ces outils en fonction des exigences particulières de Corr_Ex.
- compare Corr_Ex aux systèmes déjà existants en corrosion, et présente les conclusions et les recommandations nécessaires à son développement.

Corrosult tient à remercier l'IGM pour la confiance qu'elle lui a accordée lors de ce mandat, et espère que les conclusions du présent rapport seront à son entière satisfaction.

[2]Voir référence 25.

1. RAPPELS SUR LES SYSTEMES-EXPERTS

1.1. Intelligence artificielle

L'intelligence artificielle (IA) est la branche de l'informatique qui traite des systèmes démontrant des caractéristiques habituellement associées avec l'intelligence, dans le comportement humain[3] :

- compréhension de langage
- apprentissage
- raisonnement
- solution de problèmes.

Les systèmes experts sont un domaine important de l'IA, et le seul actuellement à démontrer des capacités commerciales.

1.2. Système-expert

Un système-expert est un système informatique qui contient des connaissances organisées dans un domaine précis de l'expertise humaine. Il est programmé pour agir de façon convaincante comme consultant dans le domaine en question et peut à chaque instant expliquer sur demande son raisonnement [25].

Il peut fournir [26]:

- de l'expertise quand les resssources humaines ne sont pas disponibles.
- de l'expertise de façon plus rapide et plus consistante qu'un expert humain sollicité de toutes parts.

[3]Afin de ne pas alourdir le texte, les notions générales d'intelligence artificielle ne seront pas poussées plus avant. Le lecteur est référé aux excellents ouvrages publiés dans le domaine, afin d'approfondir, si nécessaire, ses connaissances.

- de l'assistance à un expert lors de décisions impliquant plusieurs facteurs interactifs complexes.
- une manière de recueillir des connaissances et des procédures non-documentées.
- une manière de conserver des connaissances en pleine évolution.

1.3. Utilisation

L'utilisation des systèmes-experts se retrouve surtout dans les domaines suivants [26]:

Diagnostic	-détermination de défaillances à partir d'observations.
Interprétation	- détermination d'une situation à partir de données fournies par des senseurs extérieurs.
Prédiction	- prévision de conséquences à partir de situations connues.
Design	- configuration d'objets sous contraintes diverses.
Instruction	- simulation de problèmes et vérification de décisions.
Contrôle	- interprétation, prévision, réparation et vérification de systèmes.

Les problèmes les plus facilement accessibles au développement d'un système-expert ont souvent les caractéristiques suivantes [26]:

- il y a des experts reconnus dans le domaine.
- ces experts ont obtenus leurs connaissances par entraînement ou expérience.
- une tâche demande à l'expert de quelques minutes à quelques heures (pas trop simple et pas trop compliqué).

- la tâche relève surtout de la cognition (la réussite ne dépend pas de l'habilité physique ou du bon sens).
- la réussite présente un gain financier important.

1.4. Système-expert vs programme conventionnel [2,10,12,19]

Les systèmes-experts peuvent être développés en utilisant des langages conventionnels et ils appartiennent au vaste domaine de l'informatique. Ils représentent une nouvelle manière de coder et de transmettre de l'information et sont plus destinés à l'usager qu'au programmeur.

Un programme conventionnel (analyse numérique, base de données, système d'exploitation) traite de l'information numérique grâce à un algorithme: une suite complexe d'instructions; si les données changent, le programme s'exécutera de la même façon. Si aucune erreur ne se produit, on arrivera à un résultat prévu. Un algorithme efficace est toujours produit par des professionnels de l'informatique. Il ne permet à l'usager de vérifier la progression de l'exécution que par des outils en langage-machine (DEBUG), souvent trop complexes pour être utilisables par un non-programmeur.

Par opposition, un système-expert permet à l'usager d'arrêter le programme à tout instant et de vérifier quelles conclusions ont été atteintes et par quels moyens. Les données de base du système-expert sont aussi très différentes: des descriptions de connaissances. Il faut donc allier la cognition à la programmation et c'est pour cette raison que les langages symboliques sont souvent utilisés.

1.5. Structure générale d'un système-expert

Tel que montré à la figure 1, un système-expert est constitué par:

- une base de connaissance qui contient l'information pertinente et les règles de décision.
- un moteur d'inférence qui contient l'inférence et la méthode de contrôle.
- un système d'acquisition des connaissances; c'est à ce niveau qu'intervient l'expert du domaine.
- un système de retraçage de l'information qui permet l'explication des opérations en cours.
- une interface avec l'usager.

L'interaction entre ces modules permet le fonctionnement adéquat du système.

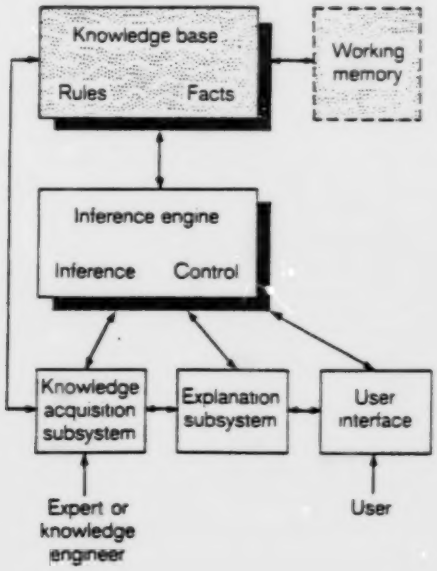


Figure 1: Structure d'un système-expert [12]

Dans les paragraphes qui suivent sera défini brièvement chacun des modules d'un système-expert[4].

1.5.1. Base de connaissances [6,12,19]

Afin de représenter adéquatement les connaissances, il faut représenter:

- les faits
- les relations entre les faits
- les incertitudes sur les faits

Représentation des faits:

- paire A-V: utilisée dans les petits systèmes, elle associe une valeur à une propriété quelconque d'un objet (attribut).
- triplet O-A-V: surtout utilisé dans les petits systèmes; un objet est une entité quelconque, un attribut est une caratéristique de cette entité et cet attribut peut prendre différentes valeurs. C'est un cas très particulier des réseaux sémantiques.
- réseau sémantique: représente les connaissances comme des noeuds d'un réseau et relie ces noeuds par des arcs représentant les relations entre les différents noeuds.
- cadre syntagmatique (frames): associe un objet avec un ensemble de caractéristiques stockées dans des "slots". Un "frame" est l'ensemble des "slots" caractérisant un objet.

Représentation des relations:

- règle IF-THEN appelée aussi règle de production (méthode la plus populaire): établit une relation entre

[4]Le lecteur devrait se référer à des publications spécialisées pour avoir une description plus détaillée.

différents faits connus, ses clauses sont habituellement des paires A-V ou des triplets O-A-V.
- règles avec clauses variables.
- exemples.
- objets à attributs multiples.

Représentation de l'incertitude:
- héritage: assume que les caractéristiques d'un objet sont aussi celles d'un autre objet semblable.
- facteur d'incertitude (le plus populaire): poids assigné à un fait ou à une relation pour indiquer son niveau d'incertitude.
- probabilité: sert à déterminer la vraisemblance d'une relation ou d'une conclusion. Les probabilités sont rarement utilisées pour les systèmes-experts qui leur préférent le facteur d'incertitude.

1.5.2. Moteur d'inférence [6,12,19]

Le moteur d'inférence se divise en 2 parties:
- inférence (génération de nouveaux faits)
- statégies de contrôle (ordre de raisonnement)

Génération de nouveaux faits:
- reconnaissance-action: cycle d'événements dans un système de production ou de chaînage avant. Est constitué dans la partie reconnaissance, par la détermination des règles dont la partie "IF" est vraie, dans la partie action, par le choix d'une règle, son évaluation et la mise en mémoire de son résultat.
- Modus Ponens (le plus populaire): assume que si A implique B et que A est vrai alors B est vrai.
- logique.
- arbres de décision.

Stratégies de contrôle:

- chaînage arrière (la plus populaire): une des méthodes pour contrôler l'ordre des inférences. Dans une suite de règles, le départ est constitué par un "but" et la vérification de ce but est faite en remontant les règles jusqu'à un résultat déjà connu.
- chaînage avant (souvent disponible mais pas utilisé fréquemment): une autre méthode de contrôle de l'ordre des inférences. Commence par accepter toutes les règles dont le "IF" est vrai et vérifie les autres règles qui peuvent être vraies, jusqu'à l'arrivée à un but ou à l'épuisement des règles. Peut être fastidieux s'il y a beaucoup de règles.
- recherche en profondeur (depth-first) (la plus populaire): dans une arborescence d'objet ou de règles, stratégie qui recherche le long d'une branche, du niveau le plus haut au niveau le plus bas.
- recherche en largeur (breadth-first): dans une hiérarchie de règles ou d'objets, stratégie de recherche qui consiste à évaluer tous les éléments d'un même niveau avant de passer au niveau suivant.
- contrôle par procédures.
- valeur active (seulement les très gros systèmes): représente un type de variable qui peut être changée en cours de consultation, par modification d'images ou autre.
- historique des événements.

1.5.3. Interfaces [6,12,19]

Elles se divisent en 3 groupes:

- interface avec le programmeur
- interface avec l'usager
- interface avec les données extérieures

Interface avec le programmeur:

- éditeur de base de connaissances (souvent éditeur de texte ordinaire).
- démonstrations.
- retraçage de l'information (presque sur tous les systèmes).
- graphisme et fenêtres.

Interface avec l'usager:

- explications et justifications (presque sur tous les systèmes).
- design d'écran.
- menus.

Interface avec les données extérieures:

- sondes (rarement).
- instruments.
- bases de données .
- autre langages et procédures.

2. SYSTEME-EXPERT CORROSION

2.1. Système-expert et problèmes de corrosion

Les problèmes de corrosion se rattachent parfaitement aux domaines cités dans la section 1.3:

Diagnostic	détermination des causes de la corrosion selon la forme de corrosion.
Interprétation	détermination de l'importance des taux de corrosion à partir de stations d'essai.
Prédiction	prévision des taux de corrosion grâce à des situations connues.
Design	choix de la méthode de protection (matériaux, peintures etc.)
Instruction	simulation de problèmes de corrosion et vérification des décisions informatiques.
Contrôle	interprétation des résultats et vérification des taux de corrosion réels.

De plus, les problèmes rencontrés ont souvent les caractéristiques énumérées en 1.3:

- il existe des experts reconnus en corrosion à la fois au CNRC et dans l'industrie.
- ces experts ont acquis leurs connaissances par entraînement et par l'expérience acquise en solutionnant des problèmes.
- la solution de la plupart des problèmes de corrosion, tant lors d'expertise que lors de conception, demande de quelques minutes à quelques heures selon la disponibilité des renseignements de base.
- la solution à un problème de corrosion relève surtout de la cognition.
- le choix de la protection adéquate représente un gain financier important.

2.2. Rappel des conclusions de la phase I

"Le sondage révèle que 82% des répondants sont intéressés par un système-expert corrosion. De ces répondants, 75, soit 45 %, se disent désireux de participer à son développement. 80% des répondants possèdent un système informatique dont la majorité est de type micro-ordinateur.

Ce sont les institutions de type industriel qui ont montré le plus haut taux de groupes désireux à participer à son développement, suivies par les universités et le génie-conseil.

L'architecture modulaire, selon un mode individuel et national, est préférée par les nombreux répondants consultés. Ces modes sont liés d'une part à la terminologie utilisée, publique ou privée, et d'autre part à l'organisme responsable de la mise à jour.

Les répondants sont d'avis que le développement, la diffusion et la mise à jour d'un système-expert corrosion donnerait au Canada un avantage important.

Les répondants sont sceptiques quant à l'utilisation des banques de données étrangères."[25]

TABLEAU 1: Proposition: système-expert corrosion

EXPERTISE

IDENTIFICATION DE LA FORME DE CORROSION
interface graphique
(menus)
MATERIAUX
(menus)
ANALYSE DU MILIEU
(menus)
IDENTIFICATION DES CAUSES
TAUX DE CORROSION
interface avec programme de calcul numérique
MESURES D'EPAISSEUR
(menus)
INTEGRITE STUCTURALE
système expert d'évaluation d'intégrité structurale
METHODES CORRECTIVES
REMPLACER
système expert conception
REPARER
système expert réparation
CHANGER REVETEMENT
système expert peinture/lining
MODIFIER P/C
système expert P/C

CONCEPTION

IDENTIFICATION DE L'EQUIPEMENT
interface graphique
(menus)
CARACTERISTIQUES MECANIQUES
(menus)
ANALYSE DU MILIEU
(menus)
ANALYSE COMPAREE DES METHODES DE PROTECTION
système expert de comparaison
interface avec CAD/CAO
interface entre les différents modules
MATERIAUX
système expert matériaux
interface avec NACE
REVETEMENTS
système expert peinture/lining
créer ou interfacer
une base de données
PROTECTION CATHODIQUE
système expert P/C
interface avec éléments finis
INHIBITEURS
système expert inhibiteur
créer ou interfacer
une base de données

CONCEPTION DETAILLEE
interface CAO/CAD
interface calcul de sur-épaisseur
COMPARAISON ECONOMIQUE
système expert finance
ANALYSE DES CONDITIONS LOCALES
(menus)
DISPONIBILITE
FACILITE DE FABRICATION
ENTREPOSAGE
TRANSPORT

CHOIX DE LA SOLUTION
interface graphique
PRESENTATION DES RESULTATS
CHOIX DE REVOIR LE DEVELOPPEMNT

2.3. Définition de Corr Ex

Le système Corr_Ex, tel que présenté dans le rapport de la phase I a un double but:

- définir les cause de la corrosion:

EXPERTISE

- concevoir les structures et les équipements contre la corrosion et choisir les méthodes de protection:

CONCEPTION

Afin de mieux orienter la recherche de l'outil informatique, le plan général du système-expert corrosion a été exécuté. Le tableau 1 schématise l'approche globale recommandée et comporte toutes les étapes de l'expertise et de la conception, de même que les besoins informatiques reliés à ces étapes[5].

Dans la colonne de gauche EXPERTISE, la reconnaissance de la forme de corrosion pourrait se faire à partir d'un menu et des conditions du milieu, alors que le choix des matériaux devrait se faire à partir d'un menu seulement. Ces méthodes ont l'avantage de limiter le nombre des solutions possibles, ce qui réduit les recherches dans les arbres de décision.

L'intégrité structurale, telle que spécifiée par les questions posées à l'usager, permettra à ce dernier de faire le choix entre les différentes solutions (peinture, remplacement, réparation, ...) selon l'importance de la corrosion. C'est à ce point que l'usager pourra s'orienter vers la CONCEPTION.

Dans la colonne de droite du tableau 1, figurent les principales étapes du choix d'une protection adéquate. En premier lieu, identification de l'équipement (menu); ensuite détermination des

[5]Ces étapes ont été décrites en détail au rapport de phase I référence [24].

caractéristiques mécaniques et de l'environnement spécifique par menus. Le choix de la protection nécessaire (peinture, revêtement, inhibiteur ou protection cathodique) est fait de façon individuelle sans exclure les scénarios conjoints. A cette étape, une possibilité d'interfaçage éléments finis/CAO permet la conception de la protection cathodique et la conception détaillée de l'équipement ou de la structure en vue de la/des solution(s) retenue(s).

Certains des modules de Corr-Ex ont déjà été précisés lors de la phase I, il convient ici de préciser les besoins informatiques requis:

Sous-systèmes experts:	7
Interfaces de calcul:	4
Interfaces CAO/CAD:	2
Interfaces graphiques:	3
Interfaces usagers (menus):	8
Interfaces base de données:	4

Chacun de ces modules pourra donc être développé soit de façon séparée soit de façon conjointe.

2.4. Exemple de dialogue usager-système

Afin de mieux choisir les outils informatiques nécessaires au développement du système-expert, le type de dialogue entre un usager et le système a été envisagé. L'exemple suivant, l'expertise et la conception d'une méthode de protection pour une plateforme de forage en haute mer, donne une idée du type d'interaction qui pourrait se faire entre un ingénieur de corrosion et Corr_Ex[6].

La figure 2, introduit le premier écran. L'usager a le choix entre l'expertise et la conception. De plus, les touches de fonc-

[6] On doit noter ici que les écrans du système réel seraient beaucoup plus évolués que ceux présentés ici (ajout de graphisme, couleurs et utilisation de fenêtres entre autres).

tions F1 à F6 (probablement F1 à F1Ø dans le système réel), contiendront à chaque étape les informations suivantes:

F1 aide, donne des explications complémentaires au sujet de Corr_Ex, de la manière de faire un choix et définit les fonctions F1 à F6.

F2 ?, donne des informations spécifiques sur l'écran en cours.

F3 >, permet d'avancer à l'écran suivant quand tous les choix sont terminés.

F4 <, permet de revenir si une mauvaise décision a été prise

F5 rapport, permet de vérifier les décisions prises jusqu'à présent et de noter la règle à vérifier actuelle, permet aussi une sortie sur imprimante.

F6 sortie, permet de terminer une session, en tout temps.

De plus, la deuxième ligne de l'écran rappelle le but principal (expertise ou conception), et chaque écran la principale décision secondaire (voir dans l'exemple, Corrosion généralisée dans le premier cas et Plate-forme de forage dans l'autre).

L'usager choisissant l'option 1, expertise, l'écran suivant, figure 3, lui introduit les formes les plus courantes de corrosion et lui demande de faire le choix de celle qui le préoccupe. Ce choix pourrait aussi inclure des caractéristiques: étendue, profondeur ... Sur l'écran suivant (figure 4) figure une liste (dépouillée ici) des matériaux utilisés. L'usager identifie son/ses choix avant de procéder plus en avant. Dans le cas d'ignorance ou d'indécision, il passe à l'écran suivant sans répondre. Le système devra être robuste à ces cas d'indécision.

Les deux écrans suivants (figures 5 et 6) définissent l'environnement et les informations disponibles au sujet du problème. On peut penser que ces caractéristiques seront fonction du type de problème et donc prévoir une certaine flexibilité, il faut aussi déterminer de quelle façon l'usager pourra communiquer ses données (chiffres, tableau, barre variable, menu).

Finalement (figure 7), on présente les conclusions préliminaires à partir des données recueillies (seulement 1 choix ici). C'est à ce niveau qu'intervient le savoir de l'expert: grâce à ses connaissances, on pourra définir les causes et le taux de corrosion et on suggèrera l'analyse d'intégrité structurale ou les solutions à apporter. Dans l'exemple simple choisi, on conclue qu'il faut procéder à une conception de méthodes de protection. L'usager peut décider de demander un rapport sur les règles vérifiées pour obtenir ce résultat (figure 7.1). Après avoir constaté la justesse des conclusions, il avancera à l'option CONCEPTION, par un écran de transition (figure 8).

Après avoir clairement identifié l'équipement (figure 9) l'usager devra en préciser les dimensions (figure 10) et les caractéristiques physiques et mécaniques (charges vives et mortes, vitesses ...)(figure 11). Ces données sont nécessaires pour le choix de la protection. Une analyse détaillée du milieu suit[7], à savoir pH, températures de l'air et de l'eau, polluants, % du temps où l'humidité relative dépasse 50% ... (figure 12). Ici encore, il faut prévoir une flexibilité en fonction de la structure choisie et la possibilité d'ignorance ou d'incertitude.

L'analyse comparée des méthodes de protection est alors entreprise. Etant donnés le grand nombre d'alternatives possibles et les calculs requis (dont le calcul de protection cathodique avec interface CAO figure 13), la vitesse devient un élément crucial. La figure 14, présente 3 solutions qui pourraient être retenues. Les autres écrans concernent les choix économiques et les disponibilités (figures 15 et 16) pour arriver (figure 17) à la recommandation finale. A ce point, l'usager peut soit demander le rapport de son analyse, soit recommancer.

[7]Dans le cas d'une conception précédée d'une expertise, certaines données de la première étape devraient être recupérées.

Cet exemple simplifié montre que le système-expert devra faire preuve de flexibilité et de rapidité d'exécution. Beaucoup d'emphase devra être mis sur la résolution de conflits (éviter que plusieurs règles différentes ne mènent aux mêmes décisions) et la diminution de redondance afin de réduire l'espace-mémoire requis et les temps de recherche et de calcul.

```
                    CORR_EX
            Solutions à la corrosion

Bienvenue à cette session de CORR_EX.

Votre problème relève du domaine de:

                        1. EXPERTISE

                        2. CONCEPTION

                                    Votre choix:_ 1

F1 aide   F2 ?   F3 <-   F4 ->   F5 rapport   F6 sortie
```

Figure 2: Détermination du problème.

```
                    CORR_EX
        Expertise d'un problème de corrosion

   Identification de la forme de corrosion:

                        1. piqûres

                        2. généralisée

                        3. localisée

                                    Votre choix:_ 2

F1 aide   F2 ?   F3 <-   F4 ->   F5 rapport   F6 sortie
```

Figure 3: Forme de corrosion

```
                    CORR EX
        Expertise d'un problème de corrosion

Corrosion généralisée: matériaux
                        1. acier au carbone
                        2. acier faiblement allié
                        3. acier inoxydable 304
                        4. acier inoxydable 316
                        5. fonte grise
                        6. aluminium

                                  Votre choix:_ 1

F1 aide   F2 ?   F3 <-   F4 ->   F5 rapport   F6 sortie
```

Figure 4: Matériaux

```
                    CORR EX
        Expertise d'un problème de corrosion

Corrosion généralisée: milieu

1.                      1. atmosphérique
                        2. marnage
2.                      3. immersion
                        4. boues
3.

                                  Votre choix:_ 3
4.

F1 aide   F2 ?   F3 <-   F4 ->   F5 rapport   F6 sortie
```

Figure 5: Identification du milieu [30]

```
                    CORR EX
        Expertise d'un problème de corrosion

   Corrosion généralisée: caractéristiques
                      1. température 1.1 eau
                                     1.2 air
                      2. vitesse 2.1 vents
                                 2.2 vagues
                      3. eau  3.1 salinité (mg/l)
                              3.2 acidité  (pH)

                                 Votre choix:_ 1.1

F1 aide   F2 ?   F3 <-   F4 ->   F5 rapport   F6 sortie
```

Figure 6.1: Caractéristiques

```
                    CORR EX
        Expertise d'un problème de corrosion

   Corrosion généralisée: caractéristiques
                      5. prop. élect. 5.1 résistivité eau
                                      5.2 potentiel acier
                      6. revêtements
                      7. écologie
                      8. date d'installation
                      9. surépaisseur prévue
                     10. protection cathodique
                                 Votre choix:_10

F1 aide   F2 ?   F3 <-   F4 ->   F5 rapport   F6 sortie
```

Figure 6.2: Caractéristiques

CORR EX
Expertise d'un problème de corrosion

Identification des causes et de l'importance de la corrosion:
Il s'agit de corrosion généralisée de l'acier au carbone dans la zone immergée dont l'épaisseur perdue représente pour les 10 ans d'installation un taux de corrosion de 30 m.p.a.
Actuellement, il n'y a ni protection cathodique ni revêtement, seule une surépaisseur de 1/16".
En conclusion, aucune mesure n'est nécessaire pour vérifier l'intégrité structurale.

F1 aide F2 ? F3 <- F4 -> F5 rapport F6 sortie

Figure 7: Conclusions

CORR EX
Expertise d'un problème de corrosion

Identification des causes et de l'importance de la corrosion:
Il s'agit de corrosion généralisée de l'acier au carbone dans la zone immergée dont l'épaisseur
...

CORR EX
Explication de la règle en cours

Identification des causes et de l'importance de la corrosion:

Si: corrosion généralisée
et: acier au carbone
et: milieu immergé
et: taux de corrosion de 30 m.p.a.
et: pas de protection cathodique
alors: conception de protection cathodique

F1 aide F2 ? F3 <- F4 -> F5 rapport F6 sortie

Figure 7.1: Explication

```
                    CORR EX
        Expertise d'un problème de corrosion

   Conception désirée?

                        1. oui

                        2. non

                                    Votre choix:_1

F1 aide   F2 ?   F3 <-   F4 ->   F5 rapport   F6 sortie
```

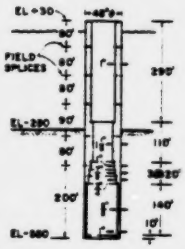
Figure 8: Transition expertise-conception

```
                    CORR EX
        Conception d'une protection anti-corrosion

   Identification de l'équipement:
                        1. plate-forme
                        2. plaque
                        3. tuyauterie
                        4. isolateur
                        5. bateau
                        6. automobile

                                    Votre choix:_ 1

F1 aide   F2 ?   F3 <-   F4 ->   F5 rapport   F6 sortie
```

Figure 9: Identification de l'équipement

CORR EX
Conception d'une protection anti-corrosion

Plate-forme de forage: dimensionnement

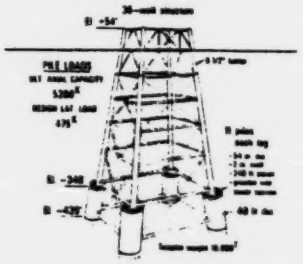


F1 aide F2 ? F3 <- F4 -> F5 rapport F6 sortie

Figure 1Ø: Dimensionnement de l'équipement [3Ø]

CORR EX
Conception d'une protection anti-corrosion

Plate-forme de forage: caractéristiques mécaniques



F1 aide F2 ? F3 <- F4 -> F5 rapport F6 sortie

Figure 11: Caractéristiques de l'équipement [3Ø]

CORR EX
Conception d'une protection anti-corrosion

Plate-forme de forage: environnement

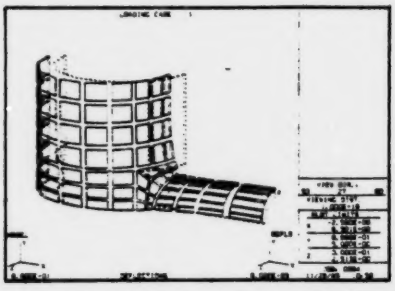
atmosphère	<——	% HR Températures Polluants
marnage	<——	Glace, vagues
immergée	<——	Résistivité PH
boues	<——	Composition

F1 aide F2 ? F3 <- F4 -> F5 rapport F6 sortie

Figure 12: Environnement [30]

CORR EX
Conception d'une protection anti-corrosion

Plate-forme de forage: protection cathodique



F1 aide F2 ? F3 <- F4 -> F5 rapport F6 sortie

Figure 13: Conception de la P/C (de GIFTStm)

CORR EX
Conception d'une protection anti-corrosion

Plate-forme de forage: protection

Solution 1: protection cathodique, anode sacrificielle

Solution 2: protection cathodique, courant imposé

Solution 3: peinture +
protection cathodique, courant imposé

F1 aide F2 ? F3 <- F4 -> F5 rapport F6 sortie

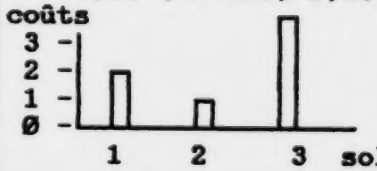
Figure 14: Conception détaillée

CORR EX
Conception d'une protection anti-corrosion

Plate-forme de forage: budget (en millions)

Solution 1. Solution 2. Solution 3.

1,9$ (12 ans) Ø,9$ (2Ø ans) 3,5$ (2Ø ans) (vie utile)



note: non-inclus, entretien

F1 aide F2 ? F3 <- F4 -> F5 rapport F6 sortie

Figure 15: Economie

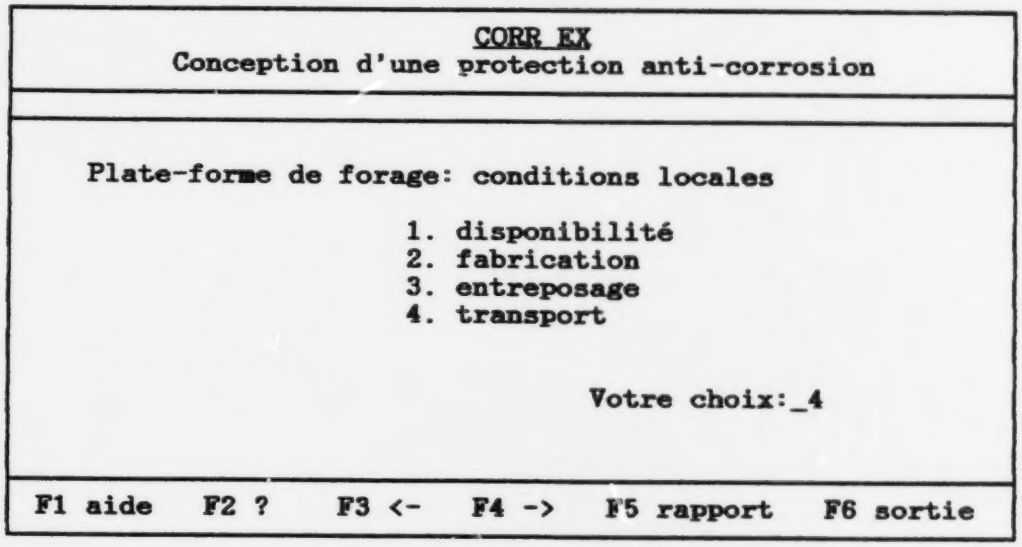


Figure 16: Conditions locales

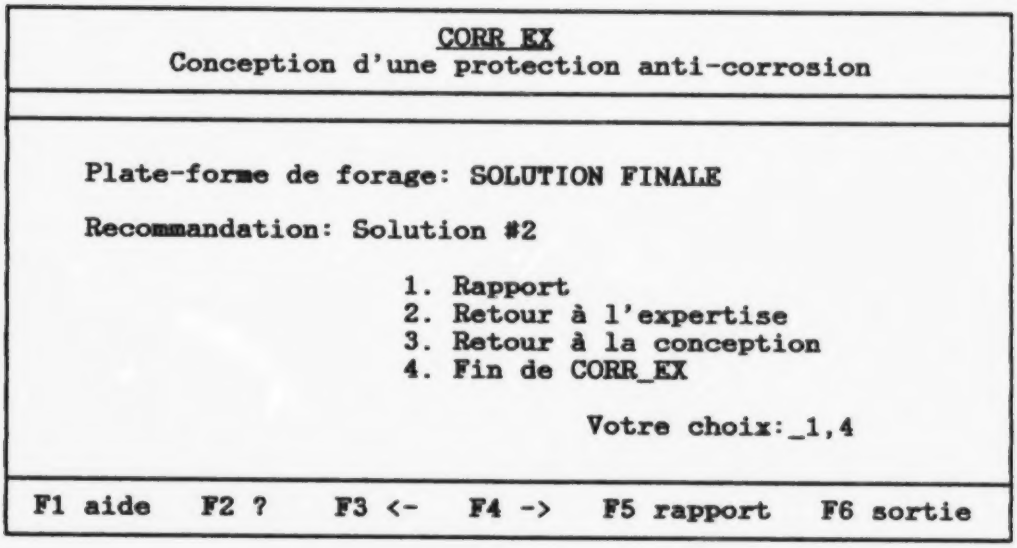


Figure 17: Solution retenue

3. OUTILS INFORMATIQUES: MATERIEL

3.1. Remarques préliminaires

Le matériel disponible pour la réalisation d'un système-expert doit être choisi selon 2 critères principaux:

- la grosseur du système prévu, en fonction du nombre de règles (tableau 2)
- coûts (tableau 3, 1ere partie)

3.2. Descriptions générales

Le matériel informatique est divisé en trois grande catégories, micro-ordinateurs, stations et gros systèmes ("main-frames").

3.2.1. Micro-ordinateurs

Les micro-ordinateurs, PC-AT, XT et compatibles (PC par la suite), permettent de développer un système-expert de type petit ou moyen car ils sont très limités en capacité, vitesse de calcul et en mémoire. Avec du "Above Board" (mémoire aux adresses 1 MB et plus) il est possible d'augmenter la capacité de mémoire mais aux dépends du temps d'exécution. Les princpales caractéristiques des PC sont:

- processeur 8 (8086 pour le XT) ou 16 (80286, plus rapide pour le AT) bits
- disque dur (harddisk) et disquettes souples
- 640K mémoire RAM
- possiblité d'écran graphique
- système d'exploitation MS-DOS (UNIX possible pour AT)
- possibilité de servir de terminal à un ordinateur plus gros

3.2.2. Stations

Les stations (autonomes ou en réseau) permettent de réaliser un plus gros système. Ce sont les dernières-nées de la technologie et elles possèdent la puissance de calcul habituellement associée à un "mainframe" dans un format presqu'aussi petit qu'un PC. Elles ont été principalement pensées dans le but de servir au développement du CAD/CAO, mais présentement elles envahissent les autres parts du marché. Leurs caractéristiques communes se résument ainsi:

- processeur 32 bits
- disque dur de grande capacité > 40 MB
- > 1MB de mémoire RAM
- écrans graphiques à haute résolution
- fenêtres et souris
- en général: système d'exploitation UNIX (VMS pour micro-VAX)
- en général: interfaçage possible à très haute vitesse (Ethernet).

3.2.3. Machines LISP et "mainframes"

Les machines LISP permettent aussi de gros systèmes-experts. Elles possèdent les caractéristiques physiques des stations, mais sont entièrement dédiées à l'intelligence artificielle et, comme leur nom l'indique, procurent tout un environnement Lisp, difficile à simuler sur un autre type de machine.

Les "mainframe", aussi pour le développement de gros systèmes, sont des ordinateurs conventionnels de type VAX ou IBM 370; ils n'ont pas été inclus dans l'évaluation puisque d'autres solutions leur sont grandement supérieures.

TABLEAU 2. : Classification des systèmes-experts

système expert		
petit	50-500	règles
moyen	500-2000	règles
gros	2000 +	règles

TABLEAU 3: Matériel [19,20,21,23][8]

1ere partie: Prix

Type	Compagnie	Nom	Prix
Lisp	Lisp Machine Inc.	Lambda Series	45k-80k$
Lisp	Symbolics	3600 Series	44.9-117k$
Lisp	Texas Instruments	Explorer Series	50-77.4k$+
Lisp	Xerox	1100 Series	10-22k$
Micro	IBM	AT	6-8k$
Micro	IBM	PC-XT	4k$
Micro	autre	AT-compatible	4-6k$
Micro	autre	XT-compatible	3-4k$
Station	Apollo	Domain Series	10-70k$
Station	DEC	MicroVAX	18-100k$
Station	Hewlett Packard	9000 Family	20-50k$
Station	IBM	PC RT	16k$+
Station	Sun Microsystems	Sun	7.9-40k$
Station	Tektronix	TEK-4132	20-40k$

[8]Note: dans tous les tableaux explicatifs, les données en caractère gras correspondent aux solutions qui ont été plus longuement étudiées.

2e partie: Evaluation préliminaire

Compagnie	Nom	Evaluation
Lisp Machine Inc.	Lambda Series	
Symbolics	3600 Series	
Texas Instruments	Explorer Series	
Xerox	1100 Series	
IBM	AT	
IBM	PC-XT	Pas assez rapide
autre	AT-compatible	Meilleur rapport qualité/prix/rapidité
autre	XT-compatible	Meilleur rapport qualité/prix/rapidité
Apollo	Domain Series	Capacité graphique
DEC	MicroVAX	Interconnection avec VAX/emphase sur AI
Hewlett Packard	9000 Family	Pas standards
IBM	PC RT	Mauvais graphisme
Sun Microsystems	Sun	Réseaux
Tektronix	TEK-4132	Destiné à la CAO

4. OUTILS INFORMATIQUES: LOGICIEL

4.1. Remarques préliminaires

Définissons premièrement les notions de coquilles, d'outils et de langages:

- la coquille est un système déjà développé, il ne reste plus qu'à ajouter ses propres règles pour bâtir son propre système.
- un outil, par contre, contient des fonctions pré-programmées qui aident à bâtir un système selon les besoins de l'usager.
- un langage est constitué, telle une langue, de concepts et d'une syntaxe pour les relier, de même, souvent, que de fonctions pré-programmées qui enlèvent à l'usager la programmation de fonctions répétitives (par exemple: sin et cos en FORTRAN)

Cependant, les frontières entre ces concepts sont floues, si bien que certaines coquilles sont plus des outils, que certains outils presque des langages et que certains langages incluent des fonctions qui les rapprochent des coquilles, et en font des environnements de programmation (voir figure 18). La figure 19 positionne ces même concepts par rapport aux langages conventionnels et aux systèmes d'exploitation connus. Dans l'évaluation qui suit, les langages d'IA, les coquilles et les outils sont classés selon le matériel sur lequel ont peut les utiliser.

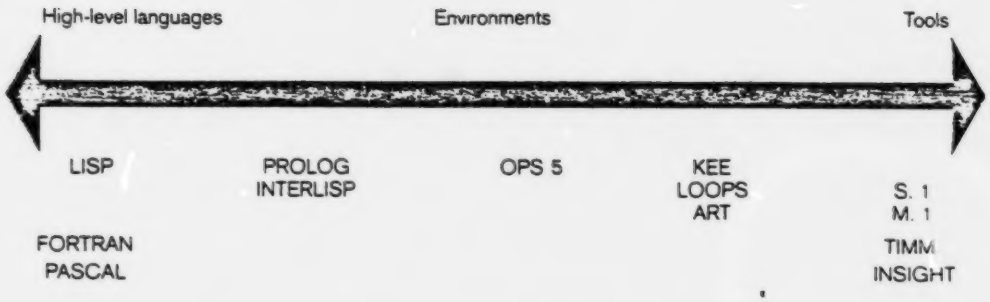


Figure 18: Concepts de langage et d'outil [12]

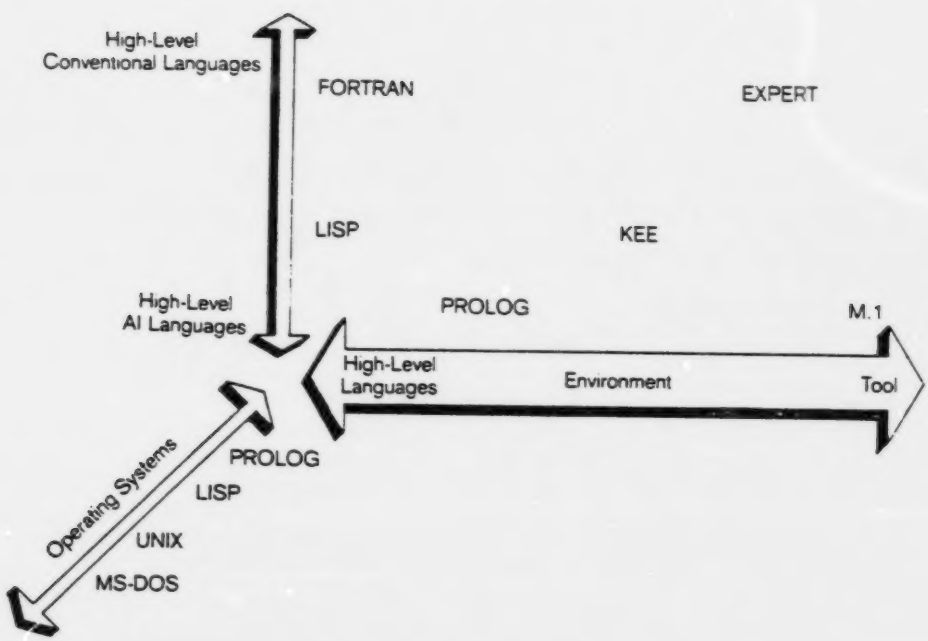


Figure 19: Position des langages d'IA et des outils [12]

4.2. Classification selon le matériel

4.2.1. Micro-ordinateurs

- langages d'IA pour micros (tableau 4)

  Se sont des versions plus ou moins standards des langages d'IA, LISP et Prolog.

  Caractéristiques communes:

  - s'addressent à des usagers assez versés en informatique car tout le système, ou presque, doit être programmé.
  - peuvent être interfacés avec d'autres langages micro.
  - plusieurs contiennent des fonctions pré-programmées pour l'interface avec l'usager ou pour aider à développer un système-expert.
  - offrent la possibilité de transférer le code-source sur un ordinateur plus gros en autant qu'il s'agisse d'une version standard du langage considéré.

- coquilles, outils pour micros (tableau 5).

  Actuellement ce marché est en pleine expansion. Plus le temps avance, plus les coquilles ou les outils sont évolués.

  Caractéristiques communes:

  - facilité d'utilisation (dirigé vers le non-programmeur)
  - limite de 1000 règles maximum, généralement autour de 500.
  - interface avec l'usager assez évoluée (graphisme, menus, souris ...)
  - possiblités d'interfaçage, souvent primitif, avec les langages traditionnels (Assembler, C, Pascal...) et les langages d'IA.
  - chez certains, disponibilité du/ de la même outil/coquille pour un ordinateur plus gros.

4.2.2. Stations

- langages d'IA pour stations (tableau 4)

  Ils sont souvent plus standards et donc plus facilement transférables d'une machine à l'autre.

- coquilles et outils pour stations (tableau 5).

  Mêmes caractéristiques générales que les coquilles/outils pour micros mais en plus puissants et moins limités quand au nombre de règles et à la vitesse d'exécution. Ici encore, l'emphase est mise sur les possibilités d'interfaçage avec d'autres langages et avec l'usager (fenêtres, graphisme, menus, calculs).

TABLEAU 4: Langages d'IA

1ère partie: Compagnies

Type	Compagnie	Nom
Lisp	Digital Equipment Co.	VAX Lisp
Lisp	Expertelligence Inc.	ExperLisp 1.5
Lisp	Franz Inc.	Franz Lisp
Lisp	Gold Hill Computers	Golden Common
Lisp	IBM	Lisp/VM
Lisp	Integral Quality Inc.	IQ Lisp
Lisp	Levien Instruments Co.	BYSO Lisp
Lisp	The Lisp Machine Co.	TLC-Lisp
Lisp	Lisp Machine Inc. (LMI)	ObjectLisp
Lisp	Lucid Inc./OEM	Common Lisp
Lisp	Microsoft	Lisp 5.1
Lisp	Northwest Computer Algorithms	UO-Lisp
Lisp	ProCode International	WaltzLisp
Lisp	Semantic Microsystems	MacScheme
Lisp	Solution Systems	Lisp 8
Lisp	Texas Instruments	PC Scheme
Lisp	Xerox	InterLisp D
Lisp/Prolog	Mitchell Assoc. Inc.	Lisp/Prolog
Prolog	Arity Corp.	Arity
Prolog	Automata Design Associates	SS Prolog
Prolog	Borland International	TurboProlog
Prolog	Chalcedony Software	Prolog/i
Prolog	Expert Systems International	Prolog-1
Prolog	Logic Programming Associates	Micro-Prolog
Prolog	Logicware	MProlog
Prolog	Quintus Computer Systems Inc.	Quintus

2e partie: Versions et matériel

Nom	Prix	Ordinateur	Comp/int
VAX Lisp	4.8-16K$	VAX	co/in
ExperLisp 1.5	525$	Mac	inc
Exper CommonLisp	645$	Symbolics 3600	comp
Lxper Lisp3600 Link	995$	Symbolics 3600	comp
Franz Lisp	5-10k$	Apollo/Sun/NCR	co/in
Extended Common Lisp	6k$	Tektronix/VAX/AT&T/others	co/in
Golden Common Lisp	495$	IBM-XT-AT	int
286 Developper	1195$	IBM-AT	co/in
GCLISP	N/A	Intel iPSC	co/in
Lisp/VM	7150$	IBM 43xx/3080x/3090x	co/in
IQ Lisp	175$	IBM/TI Pro	int
IQCLisp	300$	MS-DOS/portable	int
BYSO Lisp	395$	IBM/compatible	co/in
TLC-Lisp	250$	MS-DOS	co/in
ObjectLisp	195$ tape	systèmes supportant Common Lisp	int
Common Lisp	3500$	Sun/Apollo	
Microsoft Lisp 5.1	250$	MS-DOS	int/c
UO-Lisp	150$	MS-DOS	co/in
WaltzLisp	169$	CP/M / MS-DOS	int
MacScheme	125$	Apple/Mac	int
Lisp 8	75$	MS-DOS	int
PC Scheme	95$	TI PC/MS-DOS	inc
InterLisp D	10-17k$	Xerox 1100 series	co/in
Lisp/Prolog	5000$	Prime	co/in
Arity Standard	95$	MS-DOS	int
Ver. 4 Arity/Prolog	795$	MS-DOS	co/in
SS Prolog	49.95$	MS-DOS	int
VML Prolog	200$	MS-DOS	int
TurboProlog	95$	MS-DOS	inc
Prolog/i	69.95$	MS-DOS	int
Prolog/m	99.95$	Mac	int
Prolog-1	95$	MS-DOS/ CP/M	int
Prolog-2	895$	VAX/MicroVAX	co/in
Micro-Prolog	89.95$	MS-DOS/ CP/M /MAC	int
Sigma Prolog	3.7k$	VAX	
MProlog	495-16.9k$	MS/Sun/Ap/VAX/NCR/TEK/IBM/CDC	
Quintus Prolog	N/A	VAX/MicroVAX	

Notes: int : interprété
comp : compilé
co/in : interprété et compilé
inc : compilé de façon incrémentale

TABLEAU 5: Coquilles et outils

1ère partie: Compagnies

Nom générique	Compagnie	Prix ($US)
Outils importants, de nature hybride		
ART	Inference Corp.	60-80k$
KEE	Intellicorp	60k$
Knowledge Craft	Carnegie Group	50k$
LOOPS	Xerox	300$
Outils importants, basés sur l'induction		
EX-TRAN 7	Intelligent Terminals	3.5-47k
RuleMaster	Radian Corp.	1-17k$
TIMM	General Research	5-39.5k$
Outils importants, basés sur des règles		
ENVISAGE	Systems Designers Software	15-40k$
ES Environment/VM & MVS	IBM	60k$
IKE	LISP Machine Inc.	15k$
KES/VS	Control Data	11-71k$
Knowledge Workbench	Silogic Inc.	1.5-12k$
OPS5e	Verac Inc.	3k$
OPS83	Product. Systems Technologies	2-25k$
S.1	Teknowledge	25-45k$
TG1/TG2	COGNITECH (France)[9]	N/A
TWAICE	Logicware Inc.	64k$
VAX OPS5	DEC	7.5k$
Outils moyens, hybrides		
Acorn	Gold Hill Computers	5k$
Personal Consultant Plus	Texas Instruments	2,950$
Intelligence/Compiler	IntelligenceWare	990$
Outils moyens, basés sur des règles		
Aion Dev. System PC & MVS	Aion	5k$
HUMBLE	Xerox	300-3k$
KES II	Software A & E	4k$
M.1	Teknowledge	5k$
Nexpert	Neuron Data	5k$
Personal Consultant	Texas Instruments	950$
Petits outils, basés sur l'induction		
Expert-Ease	Human-Edge	695$
1st Class	Programs in Motion	495$
KDS	KDS Corp.	495-795$
Super Expert	Softsync Inc.	199-1200$
Petits outils, basés sur des règles		
Advisor	Ultimate Media	99.50-295$
Airus-A	Airus Inc.	150$

[9]Cette compagnie n'était pas incluse dans l'évaluation donnée par [12,19], COGNITECH est une des compagnies françaises les plus importantes dans le domaine de l'AI et des systèmes-experts.

Nom générique	Compagnie	Prix ($US)
Apes	Programming Logic Systems	1-6k$
Arity E.S. Dev. Package	Arity Corp.	295$
DUCK	Smart Systems Technologies	6k$
ESP Advisor	Expert Systems Int'l.	895-6500$
EST	Mind Path Product Corp.	495$
ExperOPS5	ExperTelligence	525$
Expert Edge	Human Edge	795$
EXSYS	Exsys Inc.	395-900$
Insight 1.2	Level Five Research	95$
Insight 2+	Level Five Research	485$
Knowol and Knowol+	Intelligent Machine Co.	40-100$
MacKIT	Knowledge Systems Environments	500$
MicroExpert	McGraw-Hill	50-60$
SAGE	Systems Designers Software	995$
Savoir	ISI Limited	
TOPSI	Dynamic Masters Systems	125-375$
VP-Expert	Paperback Software	195$
Wisdom XS	Software Intelligence Lab.	750-13k$
Xi	Expertech	
XPER	Abacus Software	60$
XSYS	California Intelligence	995$

2e partie: Matériel

Nom	Mainframe	Stations	Mach.LISP	PC
ART		SUN-3	Lisp Mach.	
KEE			Lisp Mach.	
Knowledge Craft			Lisp Mach.	
LOOPS			Xerox D.	
EX-TRAN 7	IBM/VAX	UNIX		IBM
RuleMaster	VAX	UNIX		IBM
TIMM	IBM			IBM
ENVISAGE	VAX	MicroVAX		
ES Environment /VM & MVS	IBM			
IKE			LMI	
KES/VS	Cyber			
Knowledge Workbench		Sun/MicroVAX		
OPS5e			Lisp Mach.	
OPS83	VAX	MicroVAX/ Apollo/SUN		IBM-AT/AT&T
S.1	IBM/VM	Sun		IBM-AT
TG1/TG2		?	Lisp Mach.	IBM
TWAICE	IBM/VM/VAX			
VAX OPS5	VAX	MicroVax		
Acorn				IBM-AT
Personal Consultant Plus				TI/IBM
Intelligence/Compiler				IBM
Aion Dev. System PC & MVS		IBM/MVS		IBM
HUMBLE		Tek.	Xerox	IBM-AT/Mac
KES II				IBM
M.1				IBM
Nexpert				Mac
Personal Consultant			Explorer	TI/IBM
Expert-Ease				IBM
1st Class				IBM
KDS				IBM
Super Expert				IBM
Advisor				IBM/Apple/Comm.
Airus-A				IBM
Apes	VAX			IBM
Arity E.S. Dev. Package				IBM-AT
DUCK	IBM/VAX			IBM
ESP Advisor	VAX			IBM
EST				IBM/TI PC
ExperOPS5				Mac
Expert Edge				IBM

Nom	Mainframe	Stations	Mach.LISP	PC
EXSYS	VAX			IBM
Insight 1.2				IBM
Insight 2+				IBM
Knowol and Knowol+				IBM
MacKIT				Mac
MicroExpert				IBM/ CP/M
SAGE				IBM
Savoir	VAX			IBM
TOPSI				IBM/ CP/M
VP-Expert				IBM
Wisdom XS				IBM
Xi				IBM
XPER				Commodore
XSYS				MS-DOS

3e partie: Langages

Nom	Mainframe	Station	Mach. LISP	PC
ART		Lisp	Lisp	
KEE			Lisp	
Knowledge Craft			Lisp	
LOOPS			Lisp	
EX-TRAN 7	Fortran	Fortran		Fortran
RuleMaster	C	C		C
TIMM	Fortran			Fortran
ENVISAGE	Pascal	Pascal		
ES Environment /VM & MVS	Pascal			
IKE				Lisp
KES/VS		Lisp		
Knowledge Workbench		Prolog		
OPS5e				Lisp
OPS83	C	C		C
S.1	C	C		C
TG1/TG2			OPS5	?
TWAICE	Prolog			
VAX OPS5	Bliss	Bliss		
Acorn				Lisp
Personal Consultant Plus				Scheme
Intelligence/Compiler				Pascal
Aion Dev. System PC & MVS				Pascal
HUMBLE	Smalltalk		Smalltalk	Smalltalk
KES II				C
M.1				C
Nexpert				Assembler
Personal Consultant			Scheme	IQ Lisp
Expert-Ease				Pascal
1st Class				Pascal
KDS				Assembler
Super Expert				
Advisor				Assembler
Airus-A				C
Apes	Prolog			Prolog
Arity E.S. Dev. Package				Prolog
DUCK	Lisp			Lisp
ESP Advisor		Prolog		Prolog
EST				
ExperOPS5				Lisp
Expert Edge				C
EXSYS	C			C

Nom	Mainframe	Station	Mach. LISP	PC
Insight 1.2				Pascal
Insight 2+				Pascal
Knowol and Knowol+				
MacKIT				Fortran
MicroExpert				Pascal
SAGE				Pascal
Savoir		Pascal		Pascal
TOPSI				C
VP-Expert				
Wisdom XS				C
Xi				
XPER				C
XSYS				IQ Lisp

5. EVALUATION

5.1. Critères d'évaluation

5.1.1. Matériel

Pour le matériel, les critères d'évaluation sont les suivants (inspiré de [12]):

- puissance de calcul
- vitesse d'exécution
- interfaçage avec d'autres machines
- disponibilité de langages, d'outils et de coquilles
- coûts
    - achat
    - entretien
    - mise à jour
- support
    - documentation
    - cours ou possibilités de consultation
    - expérience du vendeur dans le domaine et avec le type de machine utilisée
- disponibilité

5.1.2. Langages

Dans le cas des langages (inspiré de [12]):

- facilité d'apprentissage et documentation
- standardisation et compilation (compiler: réduire les dimensions du système)
- fonctions pré-programmées disponibles
- interface de système
    - facilité à transmettre et à recevoir de l'information de bases de données externes et d'autres programmes
    - machines sur lesquelles le langage est disponible

- support
    - cours ou possibilités de consultation
- vitesse d'exécution
- coûts
    - initial
    - pour copies multiples
    - pour copies exécutables
    - pour support

5.1.3. Outils

Pour ce qui est des coquilles et outils, des critères ont été bien définis et reconnus [12]:

- puissance et flexibilité
    - de la représentation des connaissances
    - des méthodes d'inférences
    - des techniques de contrôle
- interface pour le développement
    - facilité d'utilisation
    - puissance d'édition
- interface de système
    - facilité à transmettre et à recevoir de l'information de bases de données externes et d'autres programmes
    - machines sur lesquelles l'outil peut fonctionner
- support
    - documentation
    - cours ou possibilités de consultation
    - expérience du vendeur dans le domaine et avec le type de machine utilisée
- vitesse d'exécution
- coûts
    - initial
    - pour copies multiples
    - pour copies exécutables
    - pour support

5.2. Evaluation générale

5.2.1. Machines

Micro-ordinateurs

- Leurs limites de mémoire et de vitesse d'exécution sont leurs handicaps les plus importants. La solution PC-AT n'est acceptable que pour de petits systèmes, sans trop d'interfaçage ou en supposant le choix d'un langage très standard (Prolog, LISP ou C), ou d'un outil ayant une version station. Ceci permettra de développer un prototype à transférer plus tard sur un ordinateur de plus grande puissance. On peut cependant prévoir que la carte 80386, qui est actuellement en β-test, va donner à un PC la puissance d'une station d'ici un an, avec la compatibilité avec tous les logiciels utilisant les PC.

Stations

- Les stations ont beaucoup plus de mémoire (vive et disque), une meilleure rapidité d'exécution et des possibilités d'interfaçage à haute vitesse avec les ordinateurs de type "mainframe" (VAX ou IBM). Elles peuvent de plus, être utilisées en dehors des application de l'IA (CAD/CAO, analyse numérique, ...). Elles fonctionnent principalement sous 2 systèmes d'exploitation: microVMS pour les stations DEC et UNIX pour les autres.

1. Stations VAX AI et microVAX

Ces stations opèrent sous le système d'exploitation microVMS, presque le même que sur les VAX traditionnels et donc un environnement connu par une majorité de programmeurs et d'analystes. MicroVMS permet l'interface avec tout Digital/VAX.

Des discussions avec Digital ont démontré que DEC est prêt à établir une collaboration et à fournir une partie du support

informatique (matériel et logiciel) si le projet de l'IGM est poursuivi. DEC prévoit aussi une percée de Corr-Ex sur le marché français.
Il ne faut pas négliger que l'IGM possède déjà de l'équipement VAX et MicroVAX, dont la station destinée à l'IA (VAX AI-Workstation).

2. Stations Sun, Apollo, Tektronix, IBM RT
Elles opérent toutes sous système d'exploitation UNIX. La station Sun possède maintenant une compatibilité avec les PC (Sun-IPC) et devient très intéressante.
Elles sont peut-être plus appropriées pour CAD/CAO seulement, car tous les langages d'IA n'y sont pas disponibles. Ces stations pourraient, de plus, poser certains problèmes d'interfaçage. Cependant, elles ont un gros avantage sur DEC: le prix (près de ½ parfois).

Machines LISP

- Ce sont des outils puissants, qui font économiser beaucoup de temps dans les premières phases de développement. Cependant, au niveau de la commercialisation, une station conventionnelle peut adéquatement les remplacer[19]. De plus, étant donné leur prix élevé et leur peu de flexibilité hors des applications de l'IA, il est très difficile de justifier leur achat pour un projet commercial: peu de clients potentiels auront ce type d'équipement. Par ailleurs, l'installation d'un système développé sur machine LISP sur l'équipement du client, risque de faire perdre les avantages de temps gagnés au développement (selon COGNITECH).

"mainframe"

-Etant donné l'intérêt des stations, seulement le VAX offre des possibilités intéressantes (système d'exploitation VMS).

Peut servir à développer certains modules à transférer ensuite sur une station ou comme centre d'un réseau de stations.

5.2.2. Coquilles/Outils

L'analyse des coquilles et outils a conduit aux conclusions suivantes:

- une majorité de petits outils utilise les standards IBM et le langage C.
- une majorité de gros outils utilise les stations et des langages plus variés (de Fortran à Prolog).
- on ne peut pas utiliser de logiciel utilisant les Macintosh, ils ne sont pas assez standards.
- on ne peut pas non plus utiliser de logiciel en Fortran ou en Pascal (ou autre langage conventionnel à l'exception de C) puisqu'ils ne sont pas assez efficaces au point de vue vitesse d'exécution.
- les logiciels de Teknowledge, tout en étant remarquables à bien des points de vue, sont inacceptables; les prix élevés pour les cours et le support enlèvent leur intèrêt.
- LOOPS, KEE sont aussi très intéressants, mais malheureusement le fait qu'ils ne soient disponibles que sur machines LISP les rend peu abordables pour une corporation.
- ART, avec sa version station pourrait sembler intéressant, mais c'est un logiciel qui date de déjà quelques années.
- il est difficile d'utiliser un logiciel disponible seulement sur micro car habituellement il sera trop limité.
- "Personnal Consultant" est aussi à rejeter car il s'agit d'une version micro seulement et le prix des licences est très élevé (25 000$ + 5 000$ par copie exécutable).
- le logiciel provenant d'une compagnie sans réputation pourrait être la cause de "bugs".
- RuleMaster de Radian est un outil très intéressant car deux versions, micro et station, sont disponibles, de même

qu'un très bon support et une interface C. Son seul défaut est son prix élevé.

- TG1 et TG2 de COGNITECH offrent aussi un bon outil de développement, ils ont été réalisés sur machine LISP mais d'autres versions pour micros et stations sont disponibles ou sur le point de l'être. COGNITECH a déjà plusieurs systèmes commerciaux dans les domaines de l'agriculture et du transport.
- Citons aussi OPS5[1•].

Pour le moment, le choix trop précipité d'un outil n'est pas conseillé [19], car avec les développements du marché, les prix descendent et la qualité monte. Si le budget est un facteur important, les systèmes ou langages basés sur PC sont moins de 5 ØØØ$US, pour les autres, on peut aller jusqu'à 85 ØØØ$US.

5.2.3. Langages

L'évaluation entre les langages en tant que tel se limite ici à décider entre Lisp et Prolog. En effet:

> "if the problem involves representing knowledge in a complex manner, handling a complex search problem, or quickly modifying a tool to incorporate active values or some monotonic reasoning technique, then you would probably prefer a tool coded in an AI langage." [19], avril 1986.

Prolog est non-seulement un langage mais il incorpore déjà un moteur d'inférence, en chaînage arrière, qui indique comment faire les recherches, ce qui en fait un environnement de programmation complet [12,15,19]. Prolog est donc plus semblable à un outil de création de systèmes-experts que Lisp. Ce dernier est un langage pur: les inférences doivent être créées par programma-

[1•]Basé sur des règles de production c'est un environnement de programmation orienté objet; il a été inclu avrc les outils dans le tableau 5.

tion [12,15,19]. La comparaison entre les deux est donc difficile.

Au niveau de la programmation, Lisp offre plus de fonctions pré-programmées, et, malgré sa plus grande complexité, est beaucoup plus populaire actuellement que Prolog [12,15,19] surtout aux E.U.. Prolog est plus facile à apprendre [19] et utilise, pour le développement, beaucoup moins de mémoire [15]; ses capacités de chaînage en font un excellent outil pour la réalisation et le test de systèmes-experts. On peut toutefois penser à un développement mixte avec des procédures interfacées entre l'un et l'autre langage [15].

Parmi les versions évaluées, nous avons retenu:

- Arity Prolog intéressant avec son outil de système-expert, son compilateur et la possibilité future d'utiliser le 80386. Il permet aussi l'interface avec un certain nombre de langages conventionnels.
- Golden Common Lisp de Gold Hill aussi très intéressant car il est compilé, a été développé au MIT et utilise déjà une version du 80386; ses problèmes sont les coûts élevés d'achat et de licence.
- dans les langages sur station, Prolog et LISP offrent tous des possibilités intéressantes.

5.3. Evaluation spécifique pour Corr_Ex

Les scénarios les plus intéressants pour le développement du projet Corr_Ex ont été plus longuement étudiés, en fonction des critères cités plus haut et des normes du système corrosion:

- interfaces avec l'usager
- interfaces CAD/CAO
- interfaces avec programmes de calcul numérique et financier

5.3.1. Démonstrateur seulement

Utiliser un AT avec expansion de mémoire et voir pour carte 80386 qui permettrait de continuer sur micro-ordinateur.

Le langage Arity-Prolog, avec outil de système-expert, s'avère ici un bon choix puisqu'il permet d'interfacer la plupart des langages standards Microsoft™ et qu'il doit prendre les développements du 80386. Pour le moment, il est impossible de réaliser l'ensemble du projet sur PC, mais il est toujours possible de prévoir le transfert du "démo" sur une station plus puissante.

5.3.2. Démonstrateur et/ou système entier

Utiliser une "AI workstation" ou station microVAX pour le projet entier incluant ou non le prototype. Ce choix permet de programmer le système en OPS5 ou VaxProlog. Si on pense à la possibilité future de petits systèmes PC, alors VaxProlog semble plus intéressant. Si on inclue le démonstateur, cette alternative offre, de plus, une meilleure continuité entre la phase prototype et la phase de développement proprement dite.

Le choix de Digital est influencé par le fait que l'IGM est déjà équipé d'un station AI et possède de l'équipement DEC.

Dans le cas où un développement rapide serait important, l'achat d'un outil puissant (RuleMaster ou TG2) pourrait être envisagé et réduirait le temps de programmation.

Ces choix permettront de suivre l'évolution dans le domaine. En effet, actuellement il existe une division nette entre systèmes réalisés par les usagers eux-mêmes (petits et moyens systèmes avec outils commerciaux) et ceux plus importants et requérant une programmation non-conventionnelle plus poussée (figure 20).

Cependant, on prévoit que les petits systèmes perdront de l'importance au profit des plus gros (utilisant mieux les développements de matériel) (figure 21). Les choix proposés ici, permettront de suivre facilement cette évolution.

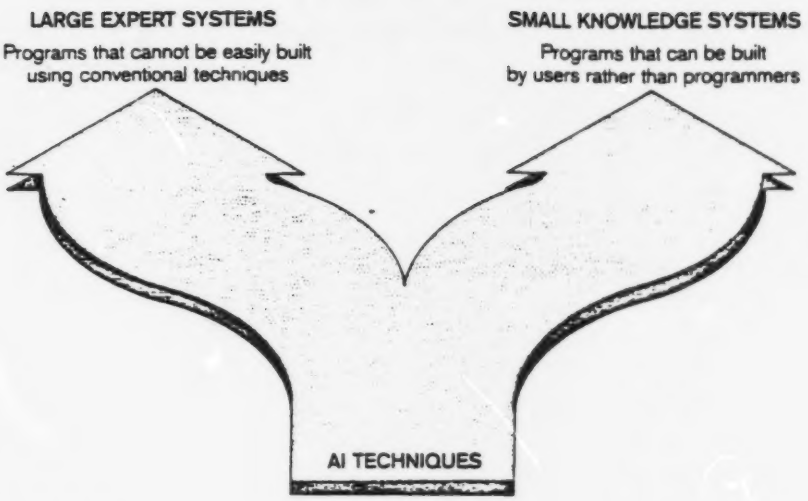


Figure 2Ø: Tendances actuelles [12]

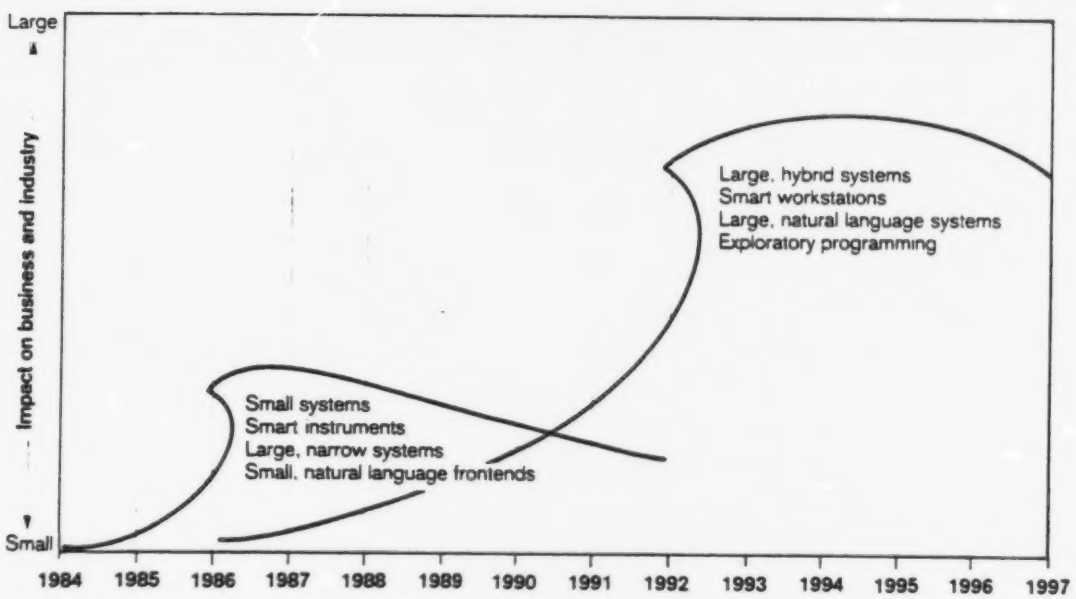


Figure 21: Evolution des tendances [12]

6. BASES DE DONNEES DISPONIBLES

Afin de pousser le projet plus avant, il est nécessaire de savoir quelles sont les bases de données disponibles qui pourront réduire possiblement le temps de développement de Corr_Ex.

6.1. NBS/Nace

Système Cor_Sur [27].

C'est une base de données sur la performance des métaux en environnement corrosif. Les usagers ont accès au taux de corrosion de 25 matériaux soumis à plus de 1000 agents corrosifs à différentes températures. L'information peut être transmise sous les formes suivantes:

- un tableau des matériaux ayant des taux de corrosion entre les bornes spécifiées et dans l'environnement, la température et les concentrations données.
- un graphique du taux de corrosion pour un métal donné dans une matrice formée par la température et les concentrations pour un environnement donné.
- un tableau du taux de corrosion pour un métal spécifié dans un environnement corrosif en fonction de la température et des concentrations.

Cette base de données est vendue sur disquettes souples (220$ US pour les membres de NACE et 270$ US pour les autres) et est compatible avec les standards IBM.

Elle n'est disponible que depuis octobre 1986, donc il est encore tôt pour se prononcer sur son utilité et sur les moyens de l'interfacer.

6.2. ASM

Metsel2 [28]

Consiste en une base de données sur les alliages métalliques. Disponible aussi sur disquettes souples, elle peut fournir les informations suivantes: nom du groupe de matériau, designation, #UNS, nom usité, manufacturier, pays, nom commercial, specifications, composition chimique (2Ø composés maximum), forme, conditions de trempe (4Ø maximum), caractéristiques de traitement, commentaires, graphiques. La base de départ contient 1ØØ alliages des plus connus, l'interface pour modifier ou ajouter des éléments à la base, de même que certains graphiques à un prix de 77Ø$US (693$US pour les membres de l'ASM). On peut acheter d'autres disquettes (156$US ou 14Ø$US membres) qui contiennent de l'information au sujet d'alliages bien déterminés.

6.3. Marcel Dekker Inc.

Corrosion [29]

Contient les effets de 6ØØ agents corrosifs sur les métaux, les non-métalliques, les plastiques et les caoutchoucs les plus utilisés, tels que mesurés par la profondeur de corrosion sur une période de temps donnée et pour des températures de 6Ø à 56Ø°F. Des sorties sous forme de tableau et certaines manipulations de données sont disponibles. C'est, cependant, une très petite base (124Ø entrées) et elle n'est accessible que selon les procédures modem, donc très lentes.

6.4. Groupe Scientifique Thermodata Europe (SGTE)

THERMODATA [29]

Contient de l'information sur les valeurs thermodynamiques critiques de 3000 composés chimiques et solutions. Peut être utilisée pour la détermination des réactions chimiques d'un matériau sous un environnement déterminé. Tableaux et manipulation de données disponibles. Accès modem et la procédure est encore plus lente du fait que cette base de données est en France.

7. ORIGINALITE DU PROJET PROPOSE

7.1. Systèmes experts dans le domaine de la corrosion

7.1.1. Harwell[11]

Le projet des laboratoires de Harwell en collaboration avec NPL (National Physics Labs) est de développer un système-expert corrosion, sous le nom de projet Achilles.

Leur prospectus nous apprend que:

"As part of the wide ranging information in the field of corrosion, two expert-systems are under development. One deals with corrosion in sea water, the other with a particular corrosion process, namely pitting. These and other proposed expert systems in this field will be linked to provide "intelligent" assistance in accessing a STATUS data base containing extensive data on corrosion. The current versions of these are being developped using the SAGE package."

L'outil de développement SAGE/ENVISAGE (tableau 5) est un système basé sur des règles [12] (Sage pour les petits systèmes, Envisage pour les gros). On peut leur fournir des schémas de raisonnement de 3 types: logique traditionnelle, inférence bayesienne (connaissance des probabilités à priori) et espaces flous, en les combinants pour former des règles, des faits et des questions [21]. Cet outil, qui fonctionne aussi bien sur PC que sur VAX et microVAX, a toutefois été rejeté dans notre évaluation, dû au fait qu'il a été écrit en Pascal, ce qui réduit ses performances possibles et empêche de réaliser un système complexe.

[11] D'autres informations sur ce projet seront disponibles dans le compte-rendu du voyage à Harwell de messieurs H. Marquis de l'IGM et J.J. Lamoureux de Corrosult.

Le projet Achilles sera installé sur le VAX de Harwell [31] et son interface avec l'usager est conventionnelle (figures 22, 23, 24). L'accès devra être fait par téléphone ou IPSS (un standard international de télécommunications numériques) ce qui, pour des usagers nord-américains rend le système inaccessible. Le prix demandé pour en être "membre", 8000 livres/années, environ 50 livres de l'heure de consultation sur VAX et les frais de communications, devient onéreux pour un accès à une base de données, toute "intelligente" soit-elle.

Harwell entrevoit toutefois l'installation possible de parties du système chez ses membres, mais il reste des problèmes d'entretien et de mise à jour.

Le projet Achilles/Harwell appartient à un type de système-expert qui a fait ses preuves: un "front-end" intelligent pour l'accès aux bases de données. Pour la corrosion, ce n'est pas un "consultant", mais un Cor_Sur intelligent.

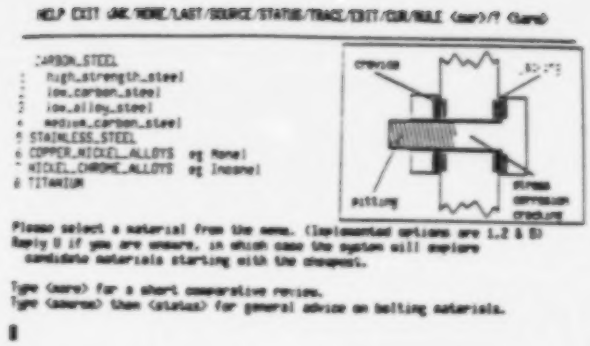


Figure 22: Choix de matériaux [31]

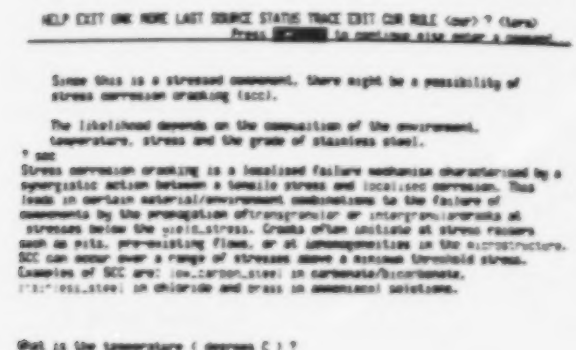


Figure 23: Explication [31]

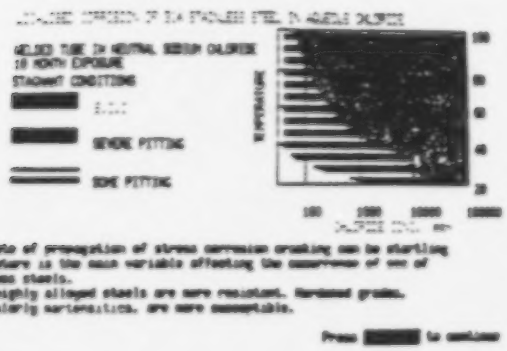


Figure 24: Information [31]

7.1.2. "Corrosion Expert"

Développé par Westinghouse et Texas Instruments c'est un système dit "moyen". Basé sur la coquille Personal Consultant de TI, il aide au design des chaudières (steam generator) en recommandant l'alliage qui réduit la corrosion. L'outil utilisé est trop petit pour incorporer l'approche globale voulue pour Corr_Ex.

7.1.3. "IPCI"

Développé par Peintures Internationales, c'est un très petit système basé sur une table de décision donc très statique et pas tellement flexible (un élément de décision à ajouter et il faut refaire une partie de la table de décision). Le programme a été développé en "C" sur un micro-ordinateur de type AT-compatible. L'accès est faite par modem. Constitue une sorte de catalogue "on line": après avoir posé un certain nombre de questions, le système fournit un scénario peinture/sous-couche.

7.2. Originalité du projet Corr Ex

Il est permis d'affirmer que l'approche suivie ici et qui intègre tous les aspects reliés à la corrosion demeure originale. Le projet Corr_Ex vise le développement d'un "consultant" en corrosion et non seulement d'une base de données intelligente. Corr_Ex englobe tous les aspects de la lutte à la corrosion et offre la possibilité d'un développement en français, ce qui ouvre le marché de la francophonie, tout en gardant les standards américains.

8. DEVELOPPEMENT DE CORR_EX

Tel que montré à la figure 25, la phase suivante du projet consiste à réaliser un premier prototype[12]. Corr_Ex constitue, selon l'évaluation donnée au tableau 2, un "gros" système-expert; les coûts et les ressources nécessaires à son développement devront en tenir compte.

8.1. Prototype

Pour commencer, la réalisation d'un sous-système pour un problème connu:

- plate-forme de forage
- turbine
- coque de bateau
- automobile
- etc.

semble être la solution idéale. Pour les bases de données, il faut envisager de payer pour utiliser Cor_Sur ou Metsel2, les coûts associés ne seront cependant connus qu'après avoir reçu les informations pertinentes.

Ce démonstrateur permettra de trouver des partenaires (industriels, comme Westinghouse, groupes-conseils, universités) intéressés au développement de Corr_Ex, en démontrant son utilité. Des rencontres avec certains groupes intéressés ont déjà eu lieu et tous sont anxieux de voir le démonstateur.

Ensuite, puisque les compagnies intéressées feront peut-être leur propre développement, il est possible d'entrevoir des collaborations pour la programmation de certains sous-systèmes (par exemple, Peintures Internationales a émis le désir de participer

[12]Le prototype ou démonstrateur est un petit système-expert contenant de 25 à 200 règles.

au projet Corr_Ex et serait prête à fournir IPCI, soit une contribution d'environ 50k$).

8.2. Budget

Le budget prévu pour la réalisation du projet comprend 2 scénarios principaux, AT et stations microVax et stations microVax seulement. Le deuxième scénario se divise en 2 sous-scénarios:

- 2 stations dédiées à l'IA
- 2 microVax standards (un peu moins performants)

On note les faits suivants (tableau 7 et graphiques):

- à court terme (démonstrateur) le scénario 1, AT et expansion de mémoire, semble plus intéressant.
- cependant à long terme, la solution station (2.2) devient la plus rentable. La solution 1 implique l'achat de nouveaux équipements après le développement du prototype et une familiarisation avec cet équipement. Ceci nuit à la continuité prototype-système et nécessite plus de temps (au moins 3 mois).

Dans tous les cas les besoins en personnel sont les mêmes, un analyste et un programmeur. Pour le développement du prototype, on envisage d'utiliser l'analyste à temps partiel. Aux salaires de ces personnes devront toutefois être ajoutés les honoraires des experts dans les domaines spécifiques.

On constate aussi que les prévisions budgétaires du tableau 6 correspondent (pour le projet final) à ce qui est prévu dans l'industrie de l'IA pour un projet semblable (tableau 7).

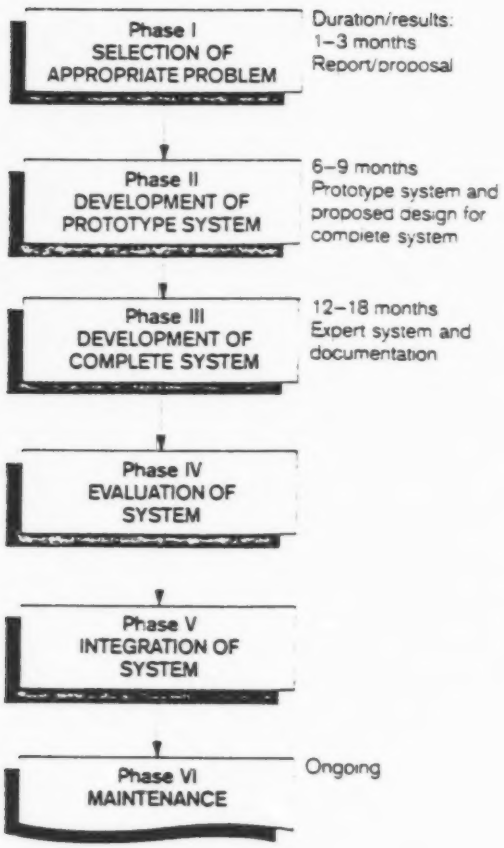


Figure 25: Phases de développement [12]

TABLEAU 6: Budget prévu

1ère partie: Démonstrateur

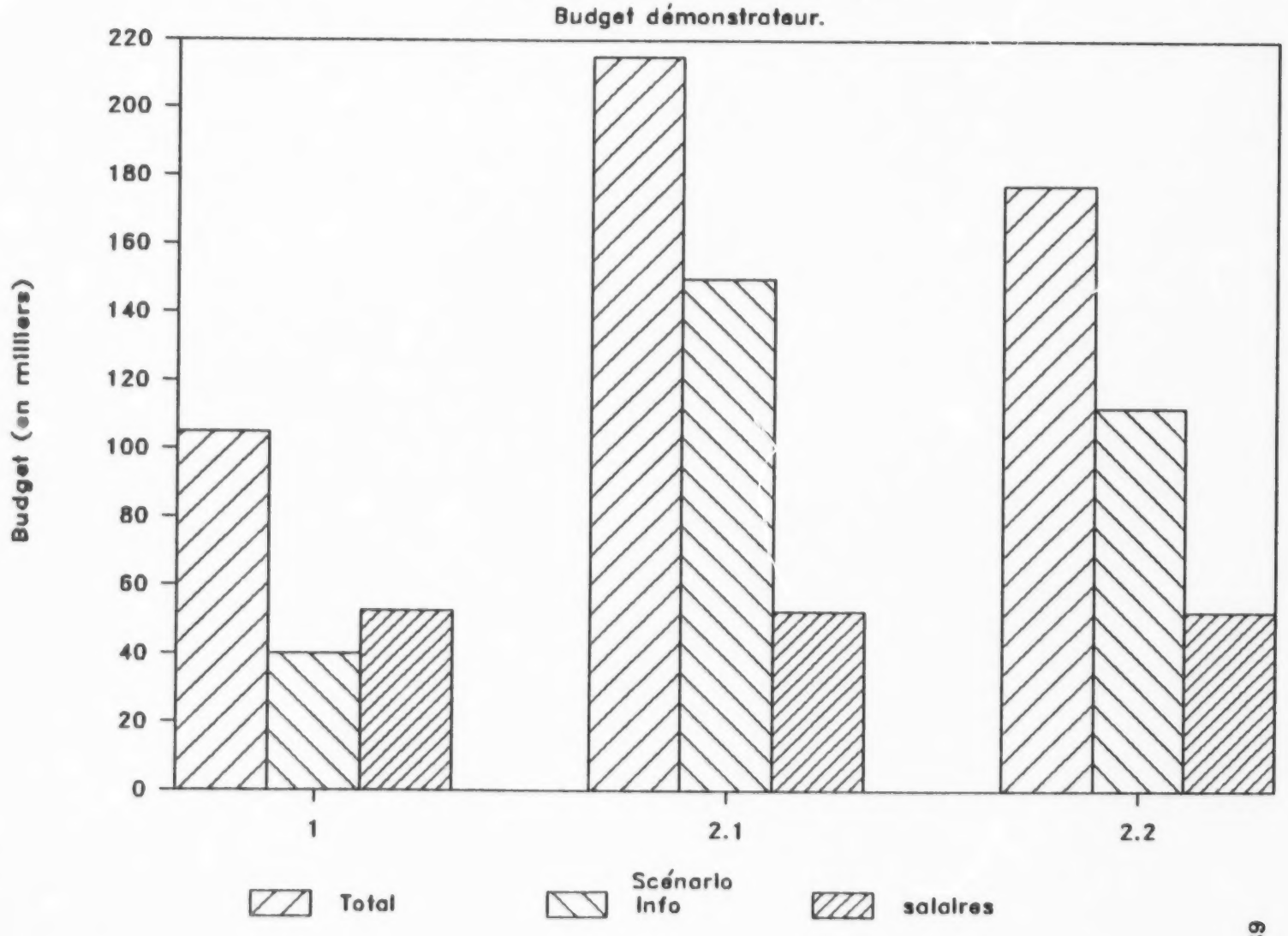
	Scénario 1 PC AT + suppl.	Scénario 2.1 Station 2 AI W-S	Scénario 2.2 Station 2 microVax
Equipement Informatique			
Matériel	$37,500.00	$150,000.00	$100,000.00
Logiciel	$2,573.00	$0.00	$12,500.00
Total	$40,073.00	$150,000.00	$112,500.00
Salaires	$105,000.00	$105,000.00	$105,000.00
Nombre d'années	0.5	0.5	0.5
Total	$52,500.00	$52,500.00	$52,500.00
Autres	$12,500.00	$12,500.00	$12,500.00
TOTAL	$105,073.00	$215,000.00	$177,500.00

2e partie: Après-démonstrateur

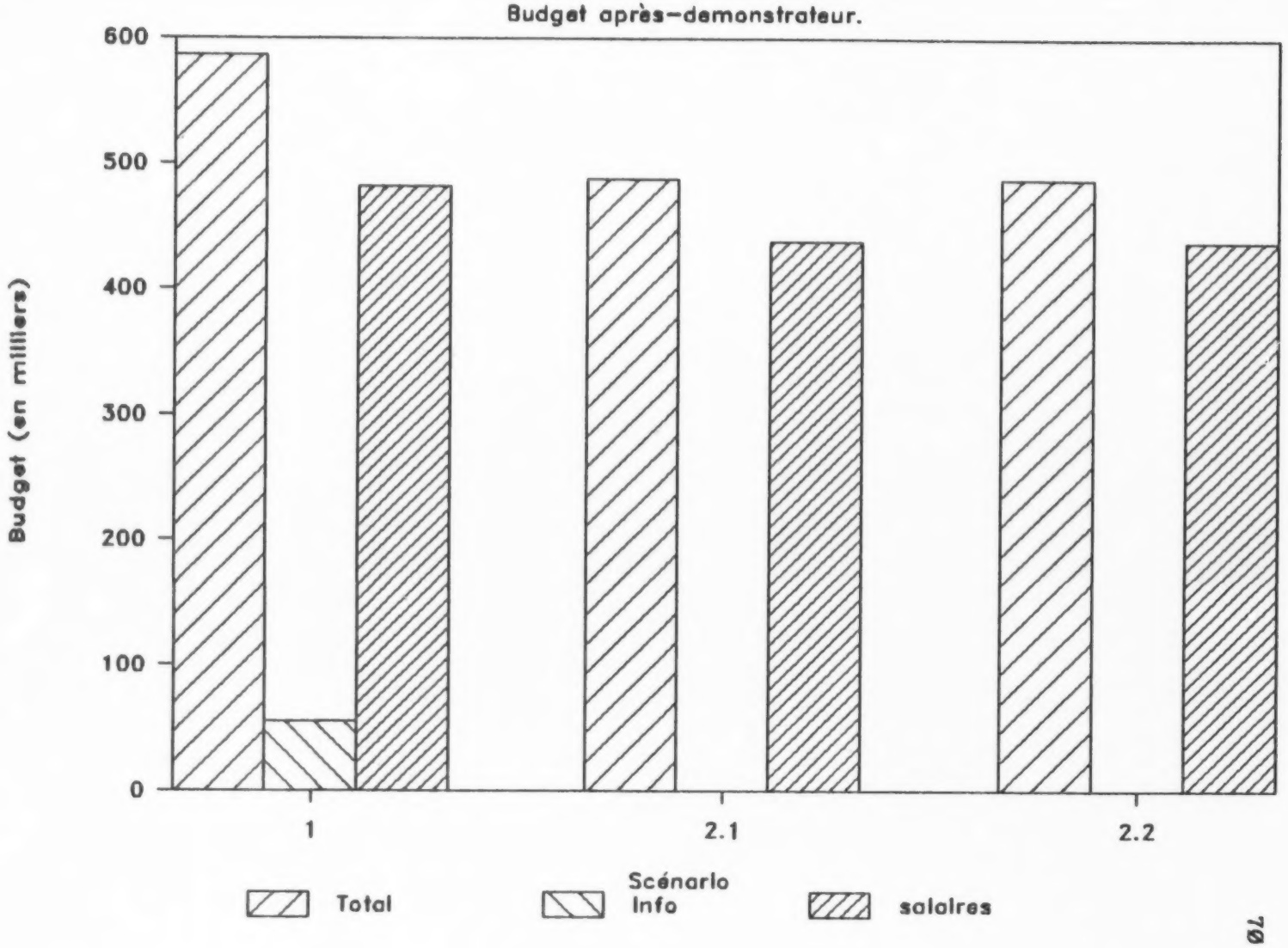
	Scénario 1	Scénario 2.1	Scénario 2.2
Equipement Informatique			
Matériel	$50,000.00	$0.00	$0.00
Logiciel	$5,000.00	$0.00	$0.00
Total	$55,000.00	$0.00	$0.00
Salaires	$175,000.00	$175,000.00	$175,000.00
Nombre d'années	2.8	2.5	2.5
Total salaire	$481,250.00	$437,500.00	$437,500.00
Autres	$50,000.00	$50,000.00	$50,000.00
TOTAL	$586,250.00	$487,500.00	$487,500.00

Non comptabilisé, honoraires des experts consultés.

PROJET CORR_EX



PROJET CORR_EX



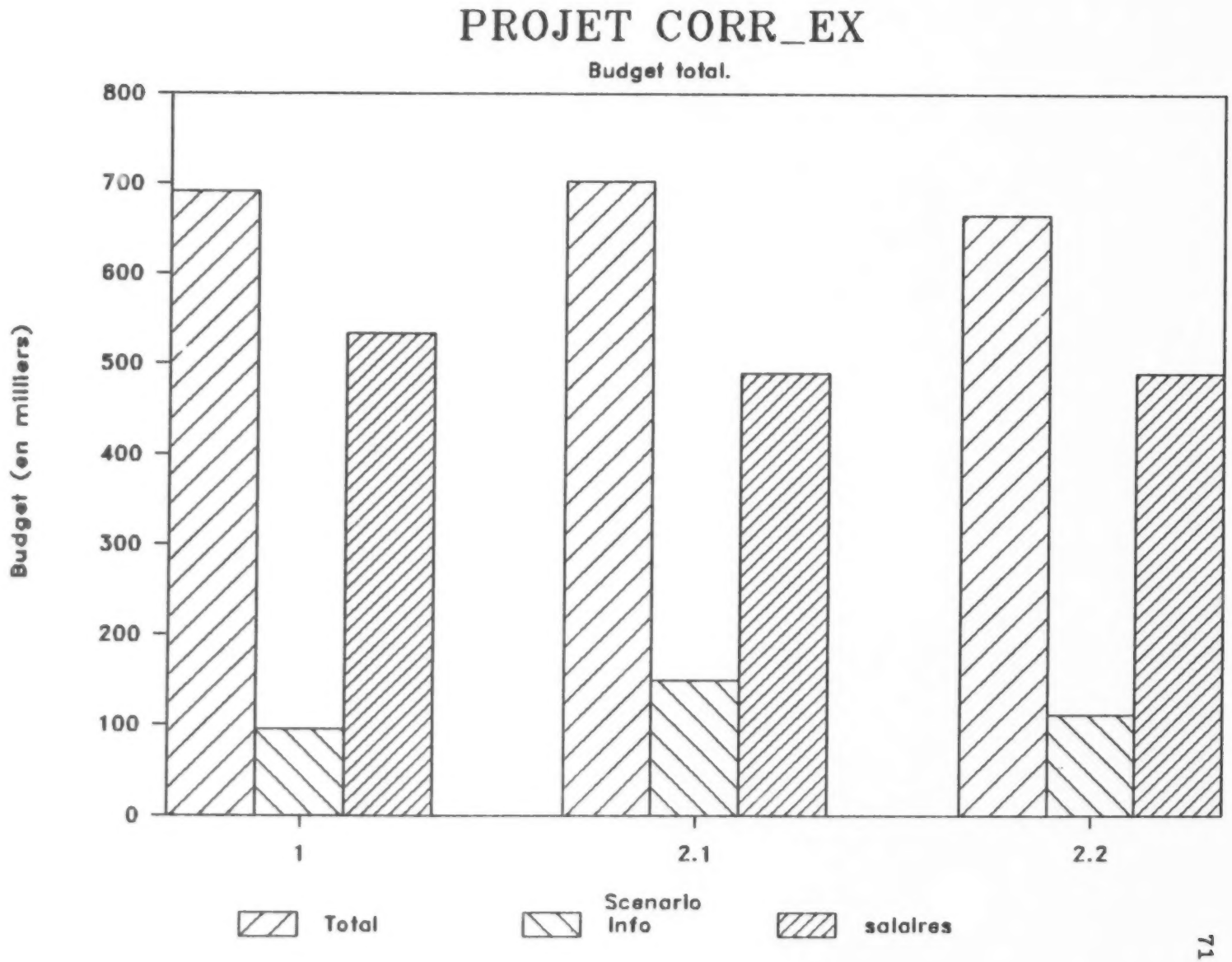

PROJET CORR_EX
Budget total.
Budget (en milliers)
800
700
600
500
400
300
200
100
0
1
2.1
2.2
Scenario
Total
Info
salaires

TABLEAU 7: Ressources nécessaires [12]

	Type de système		
	Petit	Gros	Très gros
Règles	50-350	500-3000	10,000
Outil commercial?	probable	probable	probable
Hommes/années	1/4 - 1/2	1-2	3-5
Coût	40k-60k$	500k-1000k$	2-5000k$

inclus: design et développement
exclus: honoraires des experts consultés

9. CONCLUSIONS

Après un rappel de la définition d'un système-expert, des caractéristiques propres d'un système-expert corrosion et des conclusions de la phase I, les grandes lignes du projet Corr_Ex et son approche aux problèmes de corrosion ont été introduits. Ont suivi, les descriptions des outils informatiques disponibles. L'évaluation de ces outils, en fonction des exigences particulières de Corr_Ex, a permis de déterminer un certain nombre de scénarios matériel/logiciel qui pourraient être utilisés pour son développement. La comparaison de Corr_Ex, avec les systèmes déjà existants en corrosion, a permis de constater l'utilité et l'originalité du projet et de recommander l'outil informatique:

- réalisation du démonstrateur sur PC-AT sous MS-DOS avec le langage Arity Prolog, ou, en prévoyant la continuité du développement, sur microVAX sous microVMS et langage Vax-Prolog, 6 mois, 2 personnes, environ 150 000$.

- réalisation du système entier sur équipement microVAX sous microVMS et langage VaxProlog, 2 ans, 2 personnes, environ 500 000$ supplémentaires.

10. RECOMMANDATIONS

1. Développement d'un démonstrateur sur PC-AT (ou compatible) avec Arity Prolog ou sur microVAX avec VaxProlog.

2. Utilisation du démo pour la recherche de partenaires industriels.

3. Développement du système Corr_Ex sur station microVAX.

Marie-José Montpetit, M.Sc.A.
Jean-Jacques Lamoureux, Ing.

BIBLIOGRAPHIE

Articles

[1] Fikes, R. & Kehler, T. — The Role of Frame-based Representation in Reasoning. Communication of the ACM, Vol. 28, no. 9, Sept. 1985. p. 904-920.

[2] Genesereth, M.R. & Ginsberg, M.L. — Logic Programming Communication of the ACM, Vol. 28, no. 9, Sept. 1985. p. 933-941.

[3] Helliwell, J. — GURU: Brave New Expert System? PC Magazine, May 27, 1986. p. 151-163.

[4] Hayes-Roth, F. (Teknowledge Inc.) — The Knowledge-based Expert-System: A Tutorial. Computer (IEEE), Vol. 9, Sept. 1984. p. 11-18.

[5] Montpetit, M.J., Lamoureux, J.J. — The Corr_Ex Project: Development of an Expert-System for Corrosion. soumis pour publication: The 3rd IEEE Conference on Artificial Intelligence Applications. Orlando, U.S.A., Feb. 22-28 1987.

Livres

[6] Barr, A. ed. — The Handbook of Artificial Intelligence, Vol. 1. William Kaufman, 1982.

[7] Barr, A. & Feigenbaum, E.A. ed. — The Handbook of Artificial Intelligence, Vol. 2. William Kaufman, 1982.

[8] Browston, L. & al. — Programming Expert Systems in OPS5: An Introduction to Rule-Based Programming. 1985, Addison-Wesley.

[9] Charniak, E. & McDermott, D. — Introduction to Artificial Intelligence. 1985, Addison-Wesley.

[1Ø] Davis, R. & Lenat, D.B. — Knowledge-based Systems in Artificial Intelligence. 1982, McGraw-Hill.

[11] Feigenbaum, E.A. ed. — The Handbook of Artificial Intelligence, Vol. 3. William Kaufman, 1982.

[12] Harmon, P. & King, D. — Artificial Intelligence in Business: Expert Systems. 1985, Wiley.

[13] Nilsson, N.J. — Principles of Artificial Intelligence. 1980, Tioga.

[14] Tucker, A.B. — Programming Languages, 2nd ed. 1986, McGraw-Hill.

[15] Williamson, M. — Artificial Intelligence for Microcomputers. 1986, Brady Com. Co. (Simon & Shuster).

[16] Winston, P.H. & Horn, B.K.P. — Lisp, 2nd ed. 1984, Addison-Wesley.

[17] Winston, P.H. — Artificial Intelligence, 2nd ed. 1984, Addison-Wesley.

Revues

[18] Fox, M.S., guest ed. — IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence: Special Issue on Expert Systems. Volume PAMI-7, no. 5, Sept. 1985. IEEE Computer Society.

[19] Harmon Paul, ed. — Expert Systems Strategies. Cutter Information Corp.

[20] Hong , S. J., guest ed. — Computer. Special Issue on Expert Systems in Engineering. Vol. 19, no. 7, July 1986. IEEE Computer Society.

[21] Pessel, David ed.
IEEE Expert.
IEEE Computer Society.
Vol. 1, 1986.

[22] Wallich, Paul
IEEE Spectrum
Special Tutorial on Expert-Systems.
October 1986.

Compte-rendu de conférence

[23] Roach, John, chairman.
The Second Conference on Artificial Intelligence Applications: The Engineering of Knowledge-based Systems.
IEEE Computer Society, Dec. 11-13, 1985.

Rapports techniques

[24] Lamoureux, J.J.
Proposition technique et économique: Système-expert corrosion, spécifications de l'outil informatique.
Rapport no. ØØØ6-1819, Avril 1986.

[25] Lamoureux, J.J.
Rapport phases 1 et 2: Développement d'un système-expert en corrosion.
Rapport non-numéroté, Février 1986.

[26] Radian Corporation
RuleMaster, an Introduction.
Radian Technical Report LA-R-ØØ6Ø5
June 1985.

Autres

[27] Publicité NACE.

[28] Publicité ASM.

[29] Database of Databases.

[3Ø] Graff, W.J. Introduction to Off-Shore Structures.
Gulf Publishing Co., Houston, 1981.

[31] NPL
Harwell The Achilles Club Project: Expert Systems on Corrosion and Corrosion Control.
Department of Trade and Industry, U.K. October 1986.